

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL
ACONDICIONAMIENTO DE GAS DE SÍNTESIS Y BIOGÁS EN LA
ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

JOSE ANDRES MERCHAN CUERVO
JOHN PAUL HERRERA ALZATE

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL
ACONDICIONAMIENTO DE GAS DE SÍNTESIS Y BIOGÁS EN LA
ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

JOSE ANDRES MERCHAN CUERVO
JOHN PAUL HERRERA ALZATE

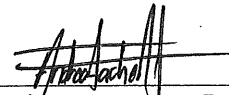
Trabajo de investigación para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

Director
ANDREA LACHE MUÑOZ
Ingeniero Químico

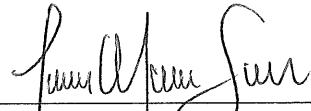
Codirector
MIGUEL MORALES
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017


Aceptación (Dirección de Investigaciones)



Firma Docente Investigador



Firma Docente Jurado 1



Firma Docente Jurado 2

Bogotá, D.C., Septiembre de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector Académico y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano general Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director de Investigaciones

Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A toda mi familia en especial mis padres por el apoyo, acompañamiento y motivación brindada todos estos años, la vida continua y continuare agradeciéndoles y respondiéndoles su apoyo siendo cada día un mejor hijo y ante todo un buen profesional.

Jose Merchán

Quiero dedicar a Dios que fue el que me permitió levantarme todos los días para cumplir este sueño, y a pesar de las complicaciones siempre estuvo ahí. A mis padres que son lo más importante de mi vida me brindaron el cariño, amor y la compañía cada día y a mi tía Ana porque me permitió terminar este proyecto de vida, estoy muy agradecido con ella por absolutamente todo y siempre estaré en deuda.

Paul herrera

AGRADECIMIENTOS

Los directores Andrea Lache y Miguel Morales que nos guiaron y aconsejaron en el desarrollo de este trabajo de investigación, al profesor Edwin rivera por sus gratos consejos y apoyo.

A lo largo de la carrea no encontramos con grandes personas que saben y trasmiten su experiencia que fue un reflejo para elaborar este proyecto y no cabe duda que la Universidad hizo una gran labor con todos sus profesores de facultad de ingenierías y a todos ellos les damos las gracias.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	22
INTRODUCCIÓN	23
OBJETIVOS	25
1. GENERALIDADES	26
1.1 BIOMASA	26
1.2 PROCESO TERMOQUÍMICO	31
1.2.1 Gasificación.	33
1.2.2 Gas de síntesis.	34
1.3 PROCESO BIOQUÍMICO	35
1.3.1 Digestión aerobia	36
1.3.2 Digestión anaeróbica	36
1.3.3 Biogás	36
1.4 PROCESOS DE LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO	37
1.4.1 Limpieza y tratamiento en gas de síntesis (syngas)	37
1.4.1.1 Limpieza del gas de síntesis a bajas temperaturas	39
1.4.1.2 Limpieza del syngas a altas temperaturas	40
1.4.2 Limpieza y tratamiento del biogás	41
1.4.2.1 Eliminación de agua	42
1.4.2.2 Eliminación de los sulfuros	42
1.4.2.3 Mejora (Upgrading)	43
2. PARÁMETROS DEL SISTEMA	45
2.1 PARÁMETROS PARA EL BIOGÁS	45
2.2 ETAPAS DE ADAPTACIÓN PARA EL GAS DE SÍNTESIS	47
2.3 PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL	50
2.3.1 Caudal	50
2.3.2 Temperatura	51
2.3.3 Presión	51
2.3.4 Peso	52
2.3.5 Ph	52
2.3.6 Concentración del gas	52
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	53
3.1 VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE BIOGÁS	53
3.1.1 Etapa 1	53
3.1.2 Etapa 2	53

3.1.3 Etapa 3	54
3.1.4 Etapa 4	54
3.1.5 Etapa 5	54
3.1.6 Etapa 6	54
3.2 VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE GAS DE SÍNTESIS	54
3.2.1 Etapa 1	54
3.2.2 Etapa 2	55
3.2.3 Etapa 3	55
3.2.4 Etapa 4	55
3.2.5 Etapa 5	55
3.3 LISTADO DE LOS ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN	55
3.3.1 Instrumentación para el proceso de limpieza del biogás.	55
3.3.1.1 Instrumentación para la Etapa 1	59
3.3.1.2 Instrumentación para la etapa 2	62
3.3.1.3 Instrumentación para la etapa 3	64
3.3.1.4 Instrumentación para la etapa 4	64
3.3.1.5 Instrumentación para la etapa 5	68
3.3.1.6 Instrumentación para la etapa 6	73
3.3.1.7 Instrumentación para la etapa 7	74
3.3.2 Instrumentación para el proceso de limpieza del gas de síntesis	74
3.3.2.1 Instrumentación para la etapa 1	77
3.3.2.2 Instrumentación para la etapa 2	79
3.3.2.3 Instrumentación para la etapa 3	81
3.3.2.4 Instrumentación para la Etapa 4	82
3.3.2.5 Instrumentación para la Etapa 5	82
3.4 DELIMITACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	83
4. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL	86
4.1 TARJETAS DE ADQUISICIÓN	87
4.1.1 Tarjeta de adquisición Arduino	88
4.1.2 Tarjetas NI 9201 ai y 9263 ao	90
4.1.3 Interfaz para configuración de tarjetas de Adquisición.	91
4.2 ADQUISICIÓN DE DATOS	93
4.2.1 Desarrollo sistema de adquisición	97
4.3 COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA	101
4.3.1 Interfaz comportamiento planta	106
4.4 DESARROLLO DE CONTROLADOR	109
4.4.1 Control PID	110
4.5 MONITOREO Y CONTROL	115
5. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	117
5.1 PRUEBAS CON LA TARJETA NATIONAL INSTRUMENTS	117
5.2 PRUEBAS CON LA TARJETA ARDUINO	120
6. CONCLUSIONES	128

7. RECOMENDACIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS	134

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Producto principal de las tecnologías termoquímicas	32
Tabla 2. Poder calorífico dependiendo de agente oxidante	34
Tabla 3. Características del biogás	36
Tabla 4. Tabla de comparación entre el biogás y los combustibles convencionales	37
Tabla 5. Impurezas del biogás	41
Tabla 6. Lazo de control 200, proceso biogás	53
Tabla 7. Lista instrumentos generales del biogás.	56
Tabla 8. Equipos con variables relacionadas	57
Tabla 9. Especificaciones válvula de bola	59
Tabla 10. Especificaciones indicador transmisor de presión.	60
Tabla 12. Especificaciones de transmisor indicador de temperatura.	61
Tabla 13. Especificaciones servo válvula	62
Tabla 14. Especificaciones válvula de control de bola	63
Tabla 15. Especificaciones indicador de nivel	64
Tabla 16. Especificaciones Válvula de bola de control	65
Tabla 17. Especificaciones termocupla	66
Tabla 18. Especificaciones transductor pt100	67
Tabla 19. Especificaciones sensor de nivel	69
Tabla 20. Especificaciones válvula de control	70
Tabla 21. Especificaciones sensor presión diferencial.	70
Tabla 22. Especificaciones medidor de flujo	71
Tabla 23. Especificaciones del pH metro.	72
Tabla 24. Especificación sensores presión bomba de impulso torre de lavado.	73
Tabla 25. Especificaciones rango de presión salida desnebulizador.	74
Tabla 26. Lazos de control gas de síntesis	74
Tabla 27. Equipos relacionados con variables	75
Tabla 28. Especificaciones válvula de bola	77
Tabla 29. Especificaciones del instrumento de presión	78
Tabla 30. Ficha técnica válvula control de flujo	79
Tabla 31. Especificaciones termocupla	80
Tabla 32. Ficha técnica manómetro	81
Tabla 33. Especificaciones rango de presión filtro de manga	82
Tabla 34. Especificaciones bomba de succión	83
Tabla 35. Datos técnicos Arduino uno	89
Tabla 36. Datos técnicos NI 9201	90
Tabla 37. Datos técnicos NI 9263	90
Tabla 38. Representación datos adquiridos en Excel	101
Tabla 39. Analogía de los fenómenos	102
Tabla 40. Representación matemática de parámetros análogos	102
Tabla 41. Método sintonizador PID Ziegler-Nichols	112

Tabla 42. Rangos máximos y mínimos	123
Tabla 43. Voltajes escalón enviados	125

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Comparación de sistemas comunes de control	86
Gráfica 2. Resolución señal digital	96
Gráfica 3. Representación estímulo respuesta	97
Gráfica 4. Representación en muestras y continua	100
Gráfica 5. Respuesta a entrada escalón	104
Gráfica 6. Ubicación de la constante de tiempo y el retardo	105
Gráfica 7. Datos registrados	107
Gráfica 8. Estímulo y respuesta normalizadas	108
Gráfica 9. Estímulo vs Respuesta	109
Gráfica 10. Acción proporcional	111
Gráfica 11. Desviación de control si acción integral	111
Gráfica 12. Acción derivativa en el error	111
Gráfica 13. Curva S ante entrada escalón	113
Gráfica 14. Respuesta de controlador a un escalón	115
Gráfica 15. Relación estímulo respuesta del prototipo	124
Gráfica 16. Relación análoga, velocidad de llenado con válvula	124
Gráfica 17. Datos registrados en prototipo	125
Gráfica 18. Simulación de pruebas en conjunto	126

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Principales fuentes de biomasa para uso energético.	28
Cuadro 2. Composición elemental de la biomasa.	29
Cuadro 3. Influencia de la biomasa en su uso como combustible.	29
Cuadro 4. Procesos de transformación de biomasa para uso energético.	30
Cuadro 5. Impurezas gas de síntesis	38

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Incidencia de la biomasa en el ciclo del CO ₂	27
Figura 2. Clasificación según la humedad presente	31
Figura 3. Procesos termoquímicos para transformación de biomasa energética	32
Figura 4. Proceso de gasificación	33
Figura 5. Elementos químicos principales del gas de síntesis	35
Figura 6. Biogás: etapa 1, 2, 2.1 y 3	45
Figura 7. Biogás: etapa 4 y 4.1	46
Figura 8. Biogás: etapa 5 y 5.1	46
Figura 9. Biogás: etapa 6	47
Figura 10. Biogás: etapa 7	47
Figura 11. Gas de síntesis etapa 1	48
Figura 12. Gas de síntesis etapa 2	48
Figura 13. Gas de síntesis: etapa 3	49
Figura 14. Gas de síntesis: etapa 4	49
Figura 15. Gas de síntesis: etapa 5	50
Figura 16. Válvula de bola	59
Figura 17. Indicador y transmisor de presión.	60
Figura 18. Indicador y transmisor de temperatura.	61
Figura 19. Servo válvula	62
Figura 20. Válvula de control de bola	63
Figura 21. Sensor indicador de nivel	64
Figura 22. Válvula de control	65
Figura 23. Termocupla	66
Figura 24. Transductor para pt 100	67
Figura 25. Sensor de nivel	68
Figura 26. Válvula de control	69
Figura 27. Medidor de flujo	71
Figura 28. Indicador transmisor de pH.	72
Figura 29. Válvula de bola	77
Figura 30. Transmisor e indicador de presión	78
Figura 31. Válvula control de flujo	79
Figura 32. Termocupla	80
Figura 33. Manómetro Indicador de presión	81
Figura 34. Bomba de succión	83
Figura 35. Interfaz sistema biogás	84
Figura 36. Interfaz sistema gas de síntesis	84
Figura 37. Sistema de enfriamiento del agua como fluido de servicio	85
Figura 38. Motor de combustión con entrada de gas de síntesis y biogás	85
Figura 39. Estructura de una aplicación de control por ordenador	87
Figura 40. Módulo para reconocimiento Arduino	88
Figura 41. Consola código LIFA_base arduino	89

Figura 42. Arduino Uno y leds TX y RX	89
Figura 43. Entorno MAX administrador de tarjetas de adquisición NI	91
Figura 44 Amplificación de señal	92
Figura 45. Izq. Conexión diferencial, der. conexión con referencia	92
Figura 46. Selección y configuración para tarjetas de adquisición	93
Figura 47. Configuración típica de lazo cerrado	94
Figura 48. Relación de sistemas continuos y discretos	95
Figura 49. Efecto de la frecuencia de muestreo con la misma señal	95
Figura 50. Interfaz Adquisición de datos	97
Figura 51. Calibración de respuesta	98
Figura 52. Control de estímulos	99
Figura 53. Configuración de estímulos automáticos	99
Figura 54. Exportar datos a Excel	100
Figura 55. Interfaz estimación de planta	106
Figura 56. Configurar escalones	107
Figura 57. Ajustar datos registrados	108
Figura 58. Estimación de ecuación de transferencia	109
Figura 59. Diagrama de bloques control PID	110
Figura 60. Interfaz diseño controlador	113
Figura 61. Constantes método Ziegler-Nichols	114
Figura 62. Requerimientos de desempeño del controlador	114
Figura 63. Sintonizador constante PID	114
Figura 64. Estimar controlador	115
Figura 65. Interfaz control	116
Figura 66. Unidad de mantenimiento laboratorio	118
Figura 67 Presostato en presión 30,2 psi	118
Figura 68. Interfaz prueba Adquisición y control con NI a 31,12 psi	119
Figura 69. Interfaz prueba Adquisición y control con NI a 10 psi	119
Figura 70. Interface con parámetros a configurar	121
Figura 71. Conexiones arduino LabVIEW y prototipo fotorresistencia -led	121
Figura 72. Conexiones a placa Arduino	122
Figura 73. Conjunto fotorresistencia-led	122
Figura 74 Medición de voltaje en multímetro	123
Figura 75. Medición voltajes en el software	123
Figura 76. Escalón completo, bajando y subiendo	126
Figura 77 Sintonización de PID del prototipo por Ziegler-Nichols	126
Figura 78. Sintonización manual y uso de las constantes calculadas	127

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Voltaje común conexión modo diferencial	92
Ecuación 2. Frecuencia de Nyquist	96
Ecuación 3. Cálculo de resolución para determinada señal	96
Ecuación 4. Cálculo de la frecuencia de la señal estímulo	100
Ecuación 5. Cálculo delta de tiempo entre muestras	100
Ecuación 6. Función de transferencia	103
Ecuación 7. Función de transferencia en el dominio del tiempo	103
Ecuación 8. Ecuación de transferencia de primer orden	105
Ecuación 9. Constante de proporcionalidad	105
Ecuación 10. Punto t1	105
Ecuación 11. Punto t2	105
Ecuación 12. Representacion PID en paralelo	112

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo B. CD software instrumento virtual	135
Anexo C. P&id biogás escala industrial	136
Anexo D. P&id syngas escala industrial	137
Anexo E. P&id biogás escala laboratorio	138
Anexo F. P&id gas de síntesis escala laboratorio	139
Anexo G. Lazos de control biogás	140
Anexo H. Lazos de control gas de síntesis	145
Anexo I. Catálogos instrumentos biogás	151
Anexo J. Catalogo instrumentos gas de síntesis	161
Anexo K. Catalogo tarjetas NI	169
Anexo L. Catalogo tarjeta Arduino	182
Anexo M. Manual de usuario	185

GLOSARIO

ACIDEZ: presencia de uno o más átomos de hidrógeno en la estructura molecular de los compuestos, que se liberan al disolverse en el agua.

ADQUISICIÓN DATOS: captación de datos por parte de un elemento que los procesa para enviar respuesta a un mando de control.

ALCALINIDAD: capacidad que tiene una sustancia para neutralizar un ácido.

ARDUINO: plataforma y tarjeta electrónica de código abierto basada en hardware y software flexibles para uso de prototipos.

ALQUITRÁN: sustancia densa y pegajosa, de color oscuro y olor fuerte, que se obtiene de la madera, del carbón vegetal o de otra materia orgánica, o por destilación del petróleo.

AUTOMATIZACIÓN: uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales.

BIODIGESTOR: cámara hermética donde se acumulan residuos orgánicos (vegetales o excremento de animales) mediante un proceso natural de bacterias (anaerobias) presentes en los excrementos que descomponen el material contenido en metano y en fertilizante.

BIOMASA: materia orgánica heterogénea usada como fuente energética.

BIOGÁS: gas producido por la descomposición de materia orgánica, por medio de un biodigestor.

CICLÓN: equipo utilizado para separar partículas sólidas suspendidas en el aire, gas o flujo de líquido, sin el uso de un filtro de aire, utilizando un vórtice para la separación.

CONTROL: existe el control manual de un proceso, que necesita la intervención humana, y el control automático, que ocurre sin la intervención de un operador humano.

COMBUSTIBLE FÓSIL: combustible que procede de la descomposición natural de la materia orgánica a lo largo de millones de años, como el petróleo, el carbón mineral o el gas natural.

DESNEBULIZADOR: dispositivo empleado en tecnología de procesos e ingeniería química para la separación de un líquido, presente en forma de finas gotas, de una

corriente de vapor o gas que lo arrastra, mediante la aplicación del fenómeno físico de la coalescencia.

ENERGÍA ELÉCTRICA: energía que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas que se produce en el interior de materiales conductores.

ELECTROESTÁTICA: rama de la física que estudia los efectos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de su carga eléctrica.

GASIFICADOR: reactor termo-químico donde tienen lugar varios procesos físicos y químicos complejos. La biomasa es secada, calentada, pirolizada, parcialmente oxidada y reducida en este reactor, con el fin de transformarla para ser usada como combustible.

GAS DE SÍNTESIS: mezcla compuesta en mayor medida por hidrógeno y monóxido de carbón y en menor, por dióxido de carbón y metano.

INTERCAMBIADOR DE CALOR: dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, o entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento.

HUMEDAD: cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

INQUEMADOS: sustancias sólidas o gaseosas que se oxidan de manera incompleta en la combustión de un combustible.

INTERFAZ: dispositivo capaz de transformar las señales generadas por un aparato en señales comprensibles por otro.

LAZO DE CONTROL: conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema.

METANO: gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica.

MICRORGANISMOS: ser vivo o sistema biológico dotado de individualidad y solo visible a través del microscopio, que presenta, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental.

MONITOREO: proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pro de la consecución de sus objetivos.

PID: mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial, que calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado, por medio de las constantes proporcional, integral y derivativa.

PODER CALORÍFICO: cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia, que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

ESTEQUIOMETRIA: cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.

SOFTWARE: conjunto de programas y rutinas que permiten al computador realizar determinadas tareas.

SISTEMA: conjunto de operaciones, equipos o herramientas que transforman una señal de entrada en una señal de salida, procesando la señal de entrada.

SOLUBLE: cualidad de una sustancia que se disuelve en un determinado medio.

TARJETA DE ADQUISICIÓN: hardware que funciona como interfaz para obtener una muestra de una variable física, que toma una señal de un sensor y después la adecua para transformarla en un dato que pueda ser reconocido.

RESUMEN

En el presente trabajo, se expuso el desarrollo de un sistema para el control y el monitoreo del acondicionamiento de dos gases provenientes de biomasa -el gas de síntesis y el biogás- en un motor de combustión interna, pensado para la generación de energía eléctrica y la disminución de la dependencia humana a los combustibles fósiles.

Se definieron los conceptos básicos que constituyen el proyecto para facilitar su comprensión, así como la estructura metodológica para el desarrollo de sus objetivos. Seguidamente se expusieron los temas específicos del proyecto, como la gasificación, biodigestión y los diferentes procesos para el tratamiento de los gases.

Después de revisado el estado del arte se especificaron los diferentes parámetros por controlar en el acondicionamiento de los gases, la relación entre los gases y la alimentación del motor. Posteriormente se establecieron las variables y condiciones requeridas en los motores de combustión interna, asegurando que logre trabajar bajo condiciones normales de funcionamiento, para poder establecer un sistema de monitoreo y control que funciona con los dos gases. Después se desarrolló un algoritmo por medio de LabVIEW que permitió un fácil control de las condiciones de operación del sistema.

Se verificó el programa con los valores teóricos y el diseño de prototipos que fueron punto de referencia para el funcionamiento del programa, y se revisaron los parámetros de los procesos de gasificación y biodigestión con trabajos que se desarrollaron en el semillero de investigación de energías alternativas de la Universidad de América.

Por último, se consignaron las conclusiones, recomendaciones, y la bibliografía revisada.

PALABRAS CLAVE: Gasificación, gas de síntesis, biodigestión, biogás, motores de combustión interna, LabVIEW

INTRODUCCIÓN

En el contexto energético actual, las energías renovables se han convertido en una alternativa de interés para disminuir la generación de emisiones contaminantes al medio ambiente. El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido al ser humano explotar el potencial de los recursos renovables como el viento, el sol y la biomasa, que son esenciales para promover la diversificación energética¹.

Apoyada en las tecnologías actuales y usando los procesos adecuados, la biomasa se convierte así en una alternativa útil, manejable y ambientalmente sostenible, ya que la materia orgánica de la que está compuesta puede proporcionar energía eléctrica, térmica y mecánica, además de contribuir al ciclo neutral en carbón.

Por medio de procesos como la gasificación -donde se obtiene gas de síntesis por quema de desechos dentro de un gasificador- y como la biodigestión -donde se obtiene biogás por digestión anaerobia de microorganismos y descomposición de materia orgánica-, se logran convertir gases combustibles que en presencia de oxígeno proporcionan energía, es decir, se convierte materia orgánica en energía aprovechable, en biomasa.

Esta investigación va encaminada a la búsqueda del aprovechamiento de los combustibles gaseosos obtenidos a partir de biomasa, mediante la incorporación de estos gases (el biogás y el gas de síntesis) en el diseño de un sistema que monitoree y controle su acondicionamiento en el uso de un motor de combustión².

Así, este proyecto, en conjunto con el grupo de investigación de energías alternativas de la Fundación Universidad de América, contempla la creación de un piloto a escala que a futuro permita la implementación de los estudios sobre gasificación de la biomasa y su acondicionamiento, y sobre la biodigestión anaerobia, como un laboratorio de energías alternativas. El desarrollo del sistema de monitoreo y control constituye el aporte del presente proyecto a dicho trabajo conjunto.

El proyecto tiene en cuenta un estudio teórico sobre los equipos de limpieza, así como el desarrollo del software para el sistema de control y monitoreo capaz de medir los parámetros tanto del gas de síntesis como del biogás para ser usados en un motor de combustión interna.

El diseño del sistema se apoya tanto en el uso de elementos encargados de enviar señales al software para que éste realice las operaciones necesarias, como en el uso de instrumentos virtuales o software (sistema de control) encargados de tomar

¹ CASTELLS,Xavier Elías. Biomasa y Bionergía: Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos, 2012. p. 84

² SEOANEZ CALVO,Mariano y CALVO,Mariano Seoanez. En: Tratado De La Biomasacon Especial Incidencia Sobre La Biomasa Como Fuente Energetica. p. 65.

decisiones que mantengan el sistema en condiciones de funcionamiento adecuadas para cumplir los requisitos de acondicionamiento y limpieza.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de monitoreo y control para la alimentación de gas de síntesis o biogás un motor de combustión interna.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los parámetros y variables a controlar en el sistema.
2. Desarrollar un sistema de control para el acondicionamiento de gas de síntesis y biogás, en la alimentación de un motor de combustión interna.
3. Evaluar el funcionamiento del instrumento virtual con datos teóricos y experimentales para reflejar alternativas de operación

1. GENERALIDADES

El acondicionamiento de los gases provenientes de biomasa es parte importante del proceso de su utilización para consumo energético. En el siguiente capítulo se expondrá detalladamente en qué consiste dicho proceso, desde las tecnologías que producen los gases de combustibles, seguido de sus procesos de adecuación, hasta los requerimientos y condiciones que exigen estos gases en el uso en un motor de combustión interna. Si bien existen varios tipos de combustibles de origen biomásicos, se hará énfasis solamente en el biogás y gas de síntesis.

1.1 BIOMASA

Históricamente la biomasa ha sido usada por el ser humano principalmente como combustible. También ha tenido otros usos domésticos como la calefacción del hogar y cocción de alimentos, e industriales como en la producción cerámica, metales y la alimentación de máquinas de vapor. Fueron precisamente estos nuevos usos que exigían cada vez más cantidad de energía en espacios cada vez más reducidos los que, hacia mediados del siglo XVII, disminuyeron el uso de la biomasa por carbón, debido al poco avance tecnológico de la época y a la fuerte aparición del carbón y el petróleo en el mercado de la energía³.

La biomasa es toda materia orgánica utilizable como fuente de energía que, según la Especificación Técnica Europea CET/TS 14588, excluye todas aquellas que han sido englobadas en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización⁴. Dicha biomasa utiliza como fuente de energía la luz solar que, por medio de la fotosíntesis, permite la formación de especies de vida vegetales que en conjunto con las demás formas de vida, contribuyen al equilibrio del ciclo de dióxido de carbono (CO_2), puesto que el carbono liberado hace parte de la atmósfera y no del subsuelo como las formaciones fósiles⁵.

La **Figura 1** procedente del catálogo de un gasificador⁶, representa brevemente la manera en cómo la biomasa usada como combustible puede intervenir en el ciclo del CO_2 , afirmando el balance negativo de carbono, obteniendo en este caso, parte de la biomasa no consumida por el motor usándola como abono, aportando alternativas para disminuir el efecto invernadero.

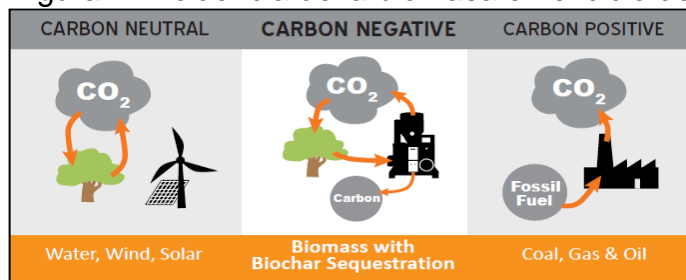
³ RENOVABLES, Energías. Energía Biomasa. En: Publicado Por La Subsecretaría De Energía Eléctrica Secretaría De Energía. República Argentina. Sitio web: <http://energia.mecon.gov.ar>. p. 7.

⁴ CASTELLS, Xavier Elías. Biomasa y Bionergía: Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos, 2012. p. 745.

⁵ Ibid. p. 9.

⁶ GENSETS, From Biomass-powered. Carbon-Negative ENERGY. p.16.

Figura 1. Incidencia de la biomasa en el ciclo del CO₂



Fuente: (Gensets)

La biomasa como recurso energético no tiene la capacidad de ser aprovechada completamente, por la amplia variedad y condiciones en las cuales se obtiene. Por eso es necesario reconocer cómo llega esa energía a la biomasa, cómo se distribuye a lo largo del proceso energético y cómo se produce dicha biomasa

Principalmente los vegetales clorofílicos tienen la capacidad de absorber cierta cantidad de carbón y cierta cantidad de energía en la fotosíntesis. Alrededor de la mitad de esa energía se expulsa mediante la respiración de la biomasa vegetal y tan sólo una parte de la otra mitad se consume para su metabolismo. El resto de la biomasa vegetal muere y es objeto de una serie de procesos de larga duración para que se produzca una mineralización de dicha biomasa. Otra parte es consumida por los herbívoros o es asimilada donde una se consume en la respiración de las plantas⁷.

La biomasa muerta y de excretas sufre a su vez otros procesos. Una parte la consumen los detritívoros (animales que se alimentan de necro masa), otra los hongos y bacterias mediante la fermentación transformando la biomasa en moléculas más pequeñas, otra parte de necro masa es mineralizada por la actividad bacteriana apareciendo iones de N y P asimilables para la biomasa vegetal, mismo proceso que ocurre al CO₂ de la respiración animal, que es asimilado por la biomasa vegetal⁸.

Es necesario tener cuidado con el consumo de biomasa porque puede afectar el ciclo y el balance anteriormente mencionado. Su consumo debe estar cuidadosamente enfocado en sectores donde la biomasa sea principalmente residual de algún proceso industrial y no de algún proceso natural que pueda desequilibrar el ecosistema⁹.

Actualmente existen cultivos energéticos que tienen como finalidad producir biocombustibles, pero debe estar en equilibrio con la naturaleza, pensando en cosechar sin el abuso excesivo de la tierra. Es claro que de toda la energía

⁷ SEOANEZ CALVO, Mariano y CALVO, Mariano Seoanez. En: Tratado De La Biomasa con Especial Incidencia Sobre La Biomasa Como Fuente Energetica. p. 102.

⁸ Ibid. p.103.

⁹ FERNÁNDEZ, Jesús. Energía de la Biomasa. En: 2004): La Energía En Sus Claves, Madrid, Fundación Iberdrola. p. 397-445

anteriormente mencionada sólo una parte de ella la usa el ser humano para sus necesidades prioritarias como alimentarse y consumir electricidad porque la biomasa, a pesar de ser un recurso renovable disponible en grandes cantidades, es un recurso que se debe gestionar y caracterizar minuciosamente por su alta variedad y por las diferentes propiedades existentes en cada especie, unas con más potencial energético que otras.

Así, cuando se va a aprovechar la biomasa con fines energéticos, se debe tener en cuenta el tipo de biomasa y una visión de cómo se puede clasificar de acuerdo a su amplia variedad. La biomasa puede ser de origen vegetal, animal, de cultivos energéticos o de residuos de actividades humanas. Según el **Cuadro 1** se puede decir que las fuentes de biomasa para uso energético, buscan en su mayoría reducir la gran cantidad de residuos que en la actualidad se generan.

Cuadro 1. Principales fuentes de biomasa para uso energético.

Residuos ganaderos	Explotaciones ganaderas	Animales muertos, estiercol, lisier, heces, orina.
	Industrias ganaderas	Sangre, carne, cueros, huesos, cuernos, pezuñas, lana, pelos, piel, grasa.
	Industrias del pescado	Cabezas, espinas, piel, colas, víceras, conchas.
Residuos industriales agrícolas	Pulpas, lodos, vinazas, lias, chanza, orujos, alpechines, huesos, restos de fruta (semillas, pulpa, pieles).	
Residuos sólidos urbanos orgánicos	Materia orgánica de restos domésticos, papel, cartón	
Residuos líquidos y pastosos urbanos orgánicos	Materia orgánica de excretas sólidas y líquidas, lodos de depuradora.	
Cultivos energéticos	Agrícolas	Oleaginosas, especies C4, cereales, crudos.
	Forestales	Salicáceas, eucaliptus, especies C4.
Residuos de actividades forestales	Residuos de operaciones selvícolas	Podas, limpias, claras, restos de cortas.
	Residuos de hojas, ramillas, raíces, tocones Residuos de corta de pies maderables	
Residuos de actividades forestales	Residuos sólidos	Ramas, cortezas, virutas, serrines
	Lodos	
Madera	Cualquier tipo de madera	
Microorganismos	Cultivos bacterianos para procesos de fermentación	

Adaptado de: (Seoanez Calvo et al. 2013)¹⁰.

La composición de los diferentes tipos de biomasa es bastante similar desde el punto de vista cualitativo, pero es muy variada desde el punto de vista cuantitativo. Esto se debe a que la proporción de sus componentes dependen de sus diferentes fuentes de origen, y a que las estructuras presentes en la biomasa no son homogéneas, sino que dependen de la proporción que tenga cada especie¹¹. Existen por lo menos 20 elementos de importancia presentes en la biomasa, como se ve en el **Cuadro 2**.

¹⁰ SEOANEZ CALVO, Mariano y CALVO, Mariano Seoanez. En: Tratado De La Biomasa con Especial Incidencia Sobre La Biomasa Como Fuente Energetica. p. 97.

¹¹ CASTELLS, Xavier Elías Op. cit., p. 751.

Cuadro 2. Composición elemental de la biomasa.

Elementos	Características y % de proporción presente
Carbón C, Hidrogeno H, Oxígeno O, Nitrógeno N, Fosforo P, Azufre S.	Son denominados macroelementos por su abundancia en la biomasa, constituyendo el 96% de la biomasa en estado seco. De estos el carbón y el oxígeno son los más abundantes con proporciones de 43-48% en peso seco, seguido del hidrogeno con 5.5-6.5% y por el nitrógeno de 1.5-5% según el contenido proteico.
Calcio Ca, Sodio Na, Potasio K, Cloro Cl, Yodo I, Magnesio Mg, Hierro Fe.	Son igualmente esenciales, aunque en menor proporción, siendo un 3.9% de la biomasa seca, componiendo de sales o moléculas específicas, en el caso del Mg presente en la clorofila o el Fe presenta en la hemoglobina.
Cobre Cu, Zinc Zn, Manganese Mn, Cobalto Co, Molibdeno Mo, Níquel Ni, Selenio Se, Silicio Si.	Se consideran como oligoelementos o elementos traza presentes en pequeñas cantidades en los seres vivos y tanto su ausencia como su exceso puede ser perjudicial para el organismo y constituyen un 0,1% de la biomasa.
Aluminio Al, Arsénico As, Bario Ba, Cadmio Cd, Mercurio Hg, Plomo Pb, Antimonio Sb, Titanio Ti, Germanio, Talio Tl, Vanadio V, Wolframio W.	Se encuentran en la biomasa y aparecen en las cenizas en mayor o menor proporción, donde sus efectos en las actividades vitales aún se desconocen.

Adaptado de: (San Miguel et al. 2015) ¹²

La influencia de dichos elementos sobre las propiedades energéticas se muestra en el **Cuadro 3**, unos en la combustión, otros sobre la corrosión y el medio ambiente, y para otros casos puede influir en las

Cuadro 3. Influencia de la biomasa en su uso como combustible.

Influencia	Características
Combustión	El carbón y el hidrogeno liberan energía al oxidarse completamente, produciendo dióxido de carbón (CO ₂) y agua (H ₂ O) generando aproximadamente 33.9 y 142.7 MJ/Kg de poder calorífico respectivamente.
Corrosión y medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> El Cloro puede generar corrosión a materiales férricos con el cloruro de hidrogeno (HCl) en conjunto con el vapor de agua. El nitrógeno al oxidarse en la combustión genera óxidos de nitrógeno (NO_x) y sumados con el nitrógeno de aire durante la combustión, resulta nocivo para la salud, por eso se debe evitar quemar biomasa con alto contenido de nitrógeno. El azufre al oxidarse produce óxidos de azufre (SO₂) y con vapor de agua forman ácidos sulfúricos (H₂SO₄) produciendo corrosión de metales férricos. Es causante de lluvias acidas en el medio ambiente.
Cenizas de la combustión en mayor proporción	<ul style="list-style-type: none"> Los elementos mayoritarios en forma de cenizas en la combustión se tienen Al, Ca, Fe, K, Mg, P, Se, Si y Ti resaltando: El sodio y el potasio influirán en la vitrificación de las cenizas dependiendo de su proporción y temperatura de combustión. El calcio y el magnesio neutralizan los efectos de vitrificación. Se puede usar como fertilizante o abono dependiendo de la cantidad de K, P, Mg y Fe.
Cenizas de la combustión en menor proporción	Al igual que con los de mayor proporción, se generan elementos como As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mg, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, V, Zn. Que tambien pueden servir como fertilizantes, sin embargo, hay que tener cuidado de la concentración que tengan de Cd, Hg o Zn porque pueden ser nocivos para la salud.

Adaptado de: (San Miguel et al. 2015)

Teniendo en cuenta las variedades de recurso biomásico disponible se obtienen diferentes propiedades e igualmente se requiere del proceso adecuado de transformación para el aprovechamiento de la energía disponible en la biomasa.

¹² SAN MIGUEL, G. y GUTIÉRREZ MARTÍN, F. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. En: Madrid: Mundi-Prensa. p. 26-27.

A pesar de que la idea general es lograr el aprovechamiento de todos los tipos biomásicos, actualmente para algunos de ellos no hay tecnologías completamente establecidas o se encuentran en fase piloto donde, a pesar de ser ampliamente conocido su potencial, aún no han sido explotados comercialmente para su aprovechamiento energético. Sin embargo, algunos procesos como la explotación de los residuos orgánicos urbanos o la síntesis de gases tampoco son nuevos, y existen bastantes posibilidades de ser planteados como realidad en la actualidad y en un futuro próximo¹³. Actualmente existen diferentes procesos para el aprovechamiento de la biomasa, cuya clasificación se describe en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Procesos de transformación de biomasa para uso energético.

Procesos físicos	Forma parte de la fase de preparación o acondicionamiento, especialmente de la biomasa forestal.				
	Cortado	Astillado	Molienda	Tamizado	Fragmentación
	Densificación	Destilación	Extracción de productos de la madera	Compactado	Separación
Procesos químicos y físico-químicos	Reacciones de degradación o digestión química, generalmente mediante hidrólisis de poli azúcares (almidón, celulosa) y lignina para dar compuestos más simples.			Hidrólisis ácida o básica.	
	Transesterificación de aceites vegetales.			Alcoholización.	
	Fragmentación y procesado.			Extracción de productos de la madera por procedimientos químicos.	
Procesos biológicos y bioquímicos	Acción directa sobre la biomasa de microorganismos o sus enzimas.			Producción de bioetanol por fermentación alcohólica.	
	Tratamiento de residuos orgánicos: <ul style="list-style-type: none">• Digestión anaerobia: biogás.• Digestión aerobia: compost.• Biomasa húmeda (aguas residuales, residuos ganaderos, etc.).			Fabricación de productos químicos como ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas y polímeros.	
				Fermentación del compost con añadidos.	
Procesos Termoquímicos	Transformación química de la biomasa al someterla a alta temperatura (300-1.500 °C).		Pirólisis: <ul style="list-style-type: none">• Descomposición térmica en ausencia de oxígeno.• Obtención de carbón vegetal en condiciones de 300 °C < t < 510 °C.• Obtención de aceites de pirólisis (hidrocarburos, aldehídos, ácidos orgánicos) o de gases en condiciones de 800 °C < t < 1.200 °C		
	Gasificación: <ul style="list-style-type: none">• Oxidación incompleta de la biomasa.• Producción de gas combustible (CO, CO2, H2, CH4, etc.) pobre o de síntesis.• Producción de gas de gasógeno por paso de corriente de aire sobre madera o sobre carbón al rojo.		Combustión: <ul style="list-style-type: none">• En estufas.• En parrilla.• En lecho fluido.• Cogeneración		

Adaptado de: SEOANEZ CALVO, Mariano y CALVO, Mariano Seoanez. En: Tratado De La Biomasa con Especial Incidencia Sobre La Biomasa Como Fuente Energética¹⁴.

El contenido de poder calorífico en la biomasa se caracteriza por tener un porcentaje de carbón bajo y un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles, estos compuestos volátiles formados por cadenas de C_xH_y, en presencia de CO₂, CO y

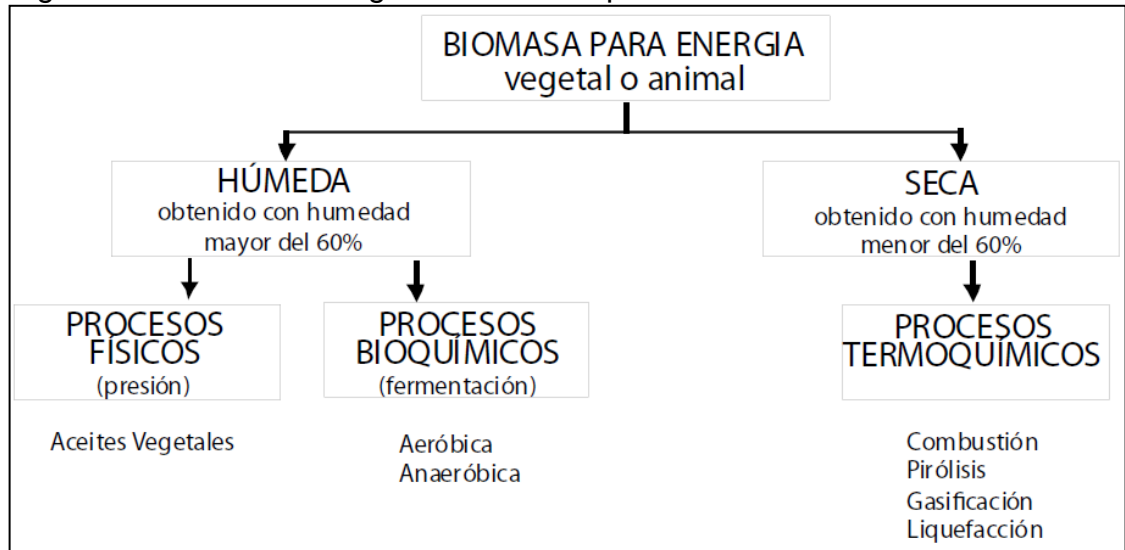
¹³ EOANEZ CALVO, Mariano. Op. cit., p. 105.

¹⁴ Ibid. p.105-106.

H₂, son los que le otorgan en gran parte del poder calorífico, aunque dependan mucho del tipo de biomasa¹⁵.

Una forma de diferenciar la biomasa es según la cantidad de humedad disponible en estado natural como se puede ver en la **Figura 2**.

Figura 2. Clasificación según la humedad presente



Fuente: (Renovables 2004)¹⁶

Para la biomasa seca con un contenido de humedad menor al 60% se clasifican los procesos termoquímicos, entre los cuales está el proceso de gasificación. Para la biomasa húmeda con un contenido de humedad mayor al 60% se puede clasificar los procesos bioquímicos como la digestión anaerobia.

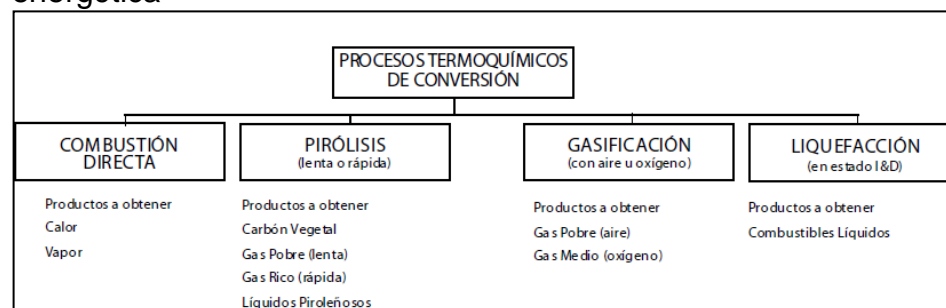
1.2 PROCESO TERMOQUÍMICO

Los procesos termoquímicos para transformación de biomasa son esenciales cuando su porcentaje de humedad de la biomasa es menor al 60%, Dichos procesos se clasifican de manera resumida en la **Figura 3**.

¹⁵ RENOVABLES, Energías. Op. cit., p. 7.

¹⁶ Ibid. p.8.

Figura 3. Procesos termoquímicos para transformación de biomasa energética



Fuente:(Renovables 2004)¹⁷

Actualmente existen cuatro métodos termoquímicos para la transformación de biomasa: por combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción. Cada proceso requiere adición de temperatura a la biomasa, La **Tabla 1** muestra una comparación más detallada de los cuatro procesos termoquímicos.

Tabla 1. Producto principal de las tecnologías termoquímicas

Tecnología	Producto primario	Rendimiento típico %	Aplicación
Pirólisis	Gas	20-90	Gas combustible
	Líquido	5-80	Aceite combustible
	Carbón sólido	5.30	Combustible sólido o viscoso
Licuefacción	Líquido	35	Aceite combustible
Gasificación	Gas	100	Gas combustible y químicos
Combustión	Calor	-	Calentar

Fuente:(Bridgwater et al. 1996)¹⁸

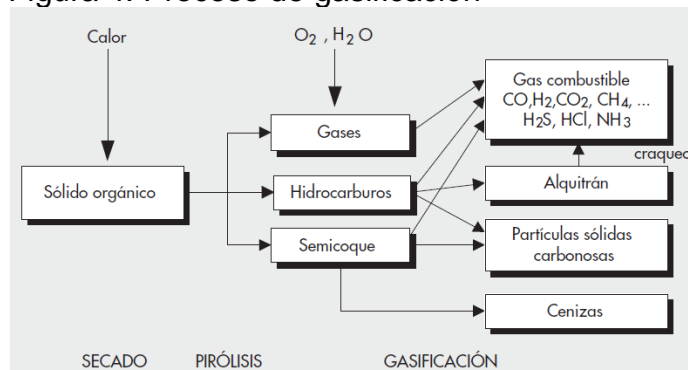
Es gracias al rendimiento típico que la gasificación que este proceso es muy contemplado comercialmente para su utilización en la transformación de la biomasa en combustible.

¹⁷ RENOVABLES, Energías. Op. cit., p. 8.

¹⁸ BRIDGWATER, A. y Generaldirektion Wissenschaft Europäische Kommission. Thermal Biomass Conversion and Utilization: Biomass Information System. Office for Official Publications of the European Communities, 1996.

1.2.1 Gasificación. La gasificación cómo se ve en la **Figura 4**, es un proceso que tiene como fin obtener gas de síntesis a partir de una determinada biomasa, mediante oxidación a una temperatura elevada, produciendo un gas con bajo poder calorífico. En la gasificación normalmente se trabaja con un 25 - 30% de oxígeno para la oxidación del material orgánico.

Figura 4. Proceso de gasificación



Fuente: (Elías Castells et al. 2012)¹⁹

En la gasificación, la conversión de energía produce gas de síntesis que se emplea o aprovecha por medio de turbinas, motores o calderas, para la generación de energía eléctrica o térmica.

En la selección de un gasificador existen varias consideraciones como el agente oxidante, el tipo de biomasa, el entorno bajo el cual va a funcionar, y las condiciones económicas y técnicas, buscando siempre una mayor eficiencia, así como la disminución de impurezas y a reducción del impacto sobre el MCI. Entre todos los tipos de gasificadores se destacan los de corriente ascendente, corriente descendente y de lecho fluidizado²⁰.

¹⁹ ELÍAS CASTELLS, Xavier y VELO, Enric Op. cit., p. 420.

²⁰ STEVENS, Christian y BROWN, Robert C. Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power. John Wiley & Sons, 2011. p. 58.

1.2.2 Gas de síntesis. Cuando se habla de gas de síntesis como un gas que posee propiedades adecuadas para la combustión, se hace referencia a un gas producto de un proceso de la gasificación de una biomasa de origen lignocelulósico (principal componente de la pared celular de las plantas). Este gas posee unas propiedades que, en condiciones de oxidación y mediante oxígeno puro, presenta un poder calorífico entre 12-20 MJ/Nm³ a temperaturas de reacción entre 600-1100 °C ²¹, resultando más alto en comparación al gas pobre (gasógeno), que es producto de la gasificación con aire y contiene entre 4-6 MJ/Nm³ ²² por su alto contenido de nitrógeno.

El gas de síntesis está compuesto principalmente por CH₄, CO, CO₂ y H₂, aunque las cantidades de estos elementos varían dependiendo de muchos factores. A pesar de que el principio de gasificación no presenta muchas variaciones, no se puede decir lo mismo del gas de síntesis, que cambia sus propiedades notoriamente dependiendo ya sea del tipo de gasificador, la temperatura y presión de la reacción, o la composición de la biomasa y el agente oxidante. Este último influye de manera directa en el poder calorífico como se puede ver en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Poder calorífico dependiendo de agente oxidante

TIPO	AGENTE	RANGO
Bajo poder calorífico	Aire	4-6 MJ/m ³
Medio poder calorífico	Oxígeno	12-18 MJ/m ³
Alto poder calorífico	Hidrógeno	40 MJ/ m ³

Fuente:(Perez et al. 2010)²³

La **Tabla 2** demuestra que el poder calorífico dependerá del agente gasificante, ya que trabajar con oxígeno o con hidrógeno aumenta los costos de operación, además comúnmente se usa el de bajo poder calorífico en la aplicación de energía eléctrica por medio de motores de combustión interna (MCI).

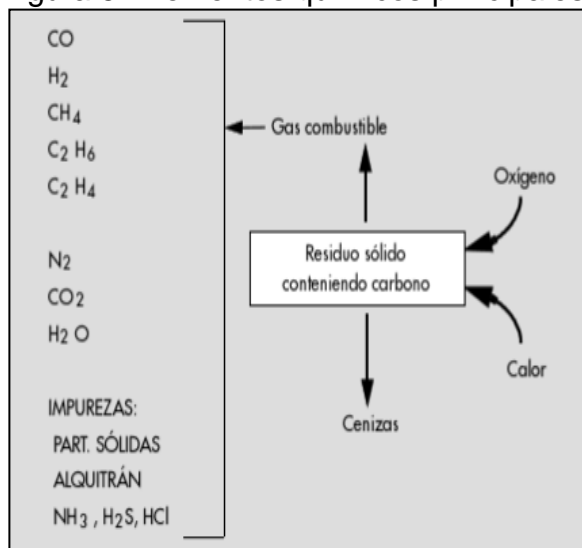
Sin embargo, el poder calorífico está en función de otros parámetros como impurezas, alquitranes, material volátil, cenizas y algunos ácidos. En la **Figura 5** se pueden observar todos los componentes del gas de síntesis, determinando los elementos químicos que se relacionan en el motor de combustión interna (MCI).

²¹ELÍAS CASTELLS,Xavier y VELO,Enric. La Gasificación. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos, 2012. 9788499691305 . p.421

²² SAN MIGUEL,G. y GUTIÉRREZ MARTÍN,F. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. En: Madrid: Mundi-Prensa. p. 202.

²³ PEREZ,Juan; BORGE,David y AGUDELO,John. Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico – experimentales. Marzo. vol. N 52, no. Fac. ing. univ. Antioquia, p. 95-pp 95-107

Figura 5. Elementos químicos principales del gas de síntesis



Fuente: (Elías Castells et al. 2012)²⁴

1.3 PROCESO BIOQUÍMICO

El proceso bioquímico se distingue de manera especial por el aporte energético que tiene la biomasa en descomposición. De manera general existen dos procedimientos para este fin: uno es con suministro de aire (aeróbico) y el otro es en ausencia de él (anaeróbico).

²⁴ ELÍAS CASTELLS, Xavier y VELO, Enric Op. cit., p. 41.

1.3.1 Digestión aerobia. Este proceso es realizado por diversos microorganismos, principalmente bacterias, que, en presencia de aire, digieren los desechos orgánicos, transformándolos y descomponiéndolos. El lugar de montaje del biodigestor requiere un constante bombeo y renovación de aire bajo ambiente controlado, y, aunque esto puede significar un costo adicional, este sistema en general requiere poco capital de inversión a comparación de la digestión anaeróbica. Adicionalmente, es de fácil operación y no genera malos olores.²⁵

1.3.2 Digestión anaeróbica. Es un proceso biológico en el cual se descomponen materiales orgánicos (residuos animales o vegetales) con la participación de bacterias que se reproducen en un ambiente sin aire, y que logran descomponer la materia convirtiendo estos desechos en biogás, que es una combinación de metano y dióxido de carbón principalmente. En este proceso, cerca del 90% de la energía se logra transformar en metano, mientras el restante 10% es usado por las mismas bacterias para estimular su reproducción, diferente de la digestión aeróbica que presenta una eficiencia más alta debido a que en este proceso se logra una conversión de energía aproximada del 50%²⁶.

1.3.3 Biogás. El biogás es el producto de un proceso de descomposición orgánica, compuesto por metano y dióxido de carbón, e impurezas que reducen la calidad del gas como combustible. Las características generales de biogás se observan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Características del biogás

Composición	55 – 70 % metano CH₄ 30 – 45 % dióxido de carbono CO₂ Trazas de otros gases
Contenido energético	6 - 6.5 kW/hm ³
Equivalente de combustible	0.6 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás.
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire.
Presión crítica	74 – 88 atm.
Temperatura crítica	-82.5 °C
Densidad normal	1.2 Kg/m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg/kmol

Fuente:(Varnero Moreno 2011)²⁷

²⁵ Ibid.p.13.

²⁶ I VARNERO MORENO, María Teresa. Op. cit. p.14.

²⁷ VARNERO MORENO,María Teresa. Manual De Biogás. Roma, IT: D - FAO, 2011. 9789253068920p.13.

Debido al contenido de metano del biogás, este es comúnmente usado en aplicaciones de turbinas y en motores para la generación de energía, producción de calor o vapor, o como combustible en vehículos.

Para entender mejor las condiciones del biogás con respecto a otros combustibles la **Tabla 4** permite ver que el biogás tiene condiciones que se asemejan mucho a los combustibles usados convencionalmente.

Tabla 4. Tabla de comparación entre el biogás y los combustibles convencionales

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4
* Composición promedio del biogás: CH ₄ (65%) – CO ₂ (35%)					

Fuente:(Varnero Moreno 2011)²⁸

1.4 PROCESOS DE LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO

Para comprender el proceso que se lleva cabo a la salida de los gases combustibles de las unidades de gasificación y biodigestión nombradas anteriormente, a continuación, se recopilan e interpretan los procesos de limpieza y tratamiento de estos gases combustibles. Este es el punto de partida para el planteamiento del sistema de medición y control que permitirá garantizar las condiciones de operación requeridas por un motor de combustión interna.

1.4.1 Limpieza y tratamiento en gas de síntesis (syngas) En el apartado sobre gasificación se establecen las características del proceso y del gas resultante, así como las condiciones variables de composición, parámetros de operación, tipo de reactor y naturaleza del agente gasificante, que son tenidas finalmente en cuenta para establecer el proceso de acondicionamiento que busca el tratamiento y limpieza para el gas de síntesis.

Durante la gasificación, en el syngas se originan impurezas contaminantes como las partículas arrastradas desde el gasificador con inquemados, materiales inertes del lecho y aerosoles de metales que se condensan, compuestos orgánicos de bajo

²⁸ VARNERO MORENO, María Teresa. Op. cit., p.55.

y alto peso molecular (alquitranes), compuestos de azufre contaminantes a base de nitrógeno, y metales en fase vapor (álcalis y metales pesados)²⁹. Estos compuestos deben ser eliminados para evitar daños en el motor y en los equipos involucrados sensibles a la erosión, corrosión, taponamientos o atascos, y para reducir la contaminación que puedan generar. En el **Cuadro 5** se resumen los tipos de contaminantes o impurezas del gas de síntesis, que deben mantener algunas.

Cuadro 5. Impurezas gas de síntesis

Contaminante	Ejemplo	Problemas
Partículas	Cenizas, char	Erosión
Haluros Metales alcalinos Otros metales traza	Cl, Br, F Na, K Hg, etc.	Corrosión, envenenamiento catalizadores Legislación
Compuestos N	NH ₃ , HCN	Emisiones
Compuestos S	H ₂ S	Emisión, corrosión, envenenamiento
Alquitranes	Ligeros, pesados	Taponamiento, atascos

Fuente: (San Miguel et al. 2015)³⁰

Generalmente se opta por la limpieza del syngas por vía húmeda, con su enfriamiento a bajas temperaturas (ambiente o inferior), sin embargo, es preferible la limpieza en caliente para obtener una eficiencia global del proceso permitiendo mayor integración con los sistemas y el control del balance energético.³¹

La limpieza o acondicionamiento del syngas incluye la separación de partículas por medio de ciclones, calderas, cerámicas, filtros cerámicos de flujo cruzado, precipitadores electrostáticos de alta temperatura y presión, filtros de lecho granulares o filtro de tejido o fibra. Y para eliminar los compuestos de azufre se utiliza la adsorción por compuestos sólidos como la caliza, la dolomita y óxidos metálicos. En los siguientes párrafos se explicará detalladamente como pueden realizarse estos procesos.³²

²⁹ WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: Biomass and Bioenergy. vol. 52, p. 54-84

³⁰ SAN MIGUEL. y GUTIÉRREZ MARTÍN Op. cit., p. 257.

³¹ Ibid. P 258.

³² Ibid. p.258.

1.4.1.1 Limpieza del gas de síntesis a bajas temperaturas . La limpieza del syngas a bajas temperaturas, por vía húmeda, se refiere a los procesos de acondicionamiento que operan a temperaturas por debajo de 300°C. Se busca que al salir del gasificador el syngas entre en una fase de separación de partículas, que generalmente son elementos inquemados, para que éstos sean llevados a un ciclón donde se separen y retornen de nuevo a la cámara del reactor. Seguidamente, se inicia el lavado del gas con agua y procesos especiales para remover los gases ácidos³³.

En la fase de lavado con agua del syngas son arrastrados alquitranes, condensados y compuestos solubles al agua como el amoníaco (NH_3), ácido cianhídrico (HCN) y haluros. En todo caso, el resultado de un buen lavado depende en gran parte de la temperatura de operación en la gasificación puesto que a temperaturas más bajas (entre 100°C y 200°C) se obtiene mayor eficiencia en el procedimiento³⁴.

Luego de la fase de lavado se eliminan, por medio de métodos de absorción, aquellos gases ácidos que no son solubles en el agua como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbón (CO_2). Sin embargo, previamente ha debido eliminarse químicamente todo rastro de monóxido de carbón (CO) transformándolo en dióxido de carbón (CO_2) al reaccionar con agua (H_2O) con el fin de disminuir los gases de efecto invernadero³⁵.

La absorción se puede realizar de dos formas: física o química. Para la absorción física los disolventes presentan un alto punto de ebullición a bajas presiones de vapor, dando lugar a métodos conocidos como el proceso selexol, proceso purisol, o el proceso rectisol. Para la absorción química los disolventes empleados pueden ser aminas orgánicas (compuestos derivados del amoníaco), que mantienen una presión baja o intermedia dependiendo el caso. Existen igualmente otros métodos alternativos de absorción a bajas temperaturas, como la separación criogénica y la tecnología de membranas³⁶.

Dicha absorción debe hacerse pensando en obtener una buena superficie de contacto gas-líquido con disoluciones acuosas alcalinas para un mejor funcionamiento. Estas pueden llevarse a cabo ya sea en columnas de relleno, torres de spray o tanques agitados³⁷.

³³ ESTRADA, Carlos Augusto y MENESES, Alberto Zapata. Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. En: Scientia Et Technica. vol. 2, no. 25,

³⁴ SHARMA, SD, et al. A critical review of syngas cleaning technologies—fundamental limitations and practical problems. En: Powder Technology. vol. 180, no. 1, p. 115-121

³⁵ SHARMA, SD, et al. A critical review of syngas cleaning technologies—fundamental limitations and practical problems. En: Powder Technology. vol. 180, no. 1, p. 115-121

³⁶ WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: Biomass and Bioenergy. vol. 52, p. 54-84

³⁷ SHARMA, SD, et al. A critical review of syngas cleaning technologies—fundamental limitations and practical problems. En: Powder Technology. vol. 180, no. 1, p. 115-121

Es necesario aclarar que en los procedimientos a bajas temperaturas las condiciones de pureza obtenidas son exigentes, aunque sus elevados costos de implementación puedan ser inconvenientes. Aun así, estos procedimientos fueron los usados en las primeras plantas de gasificación existentes.

1.4.1.2 Limpieza del syngas a altas temperaturas. En la limpieza por métodos a altas temperaturas se busca la reducción o eliminación de alquitranes, amoníaco (NH_3), ácido cianhídrico, ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbono (CO_2) además de compuestos de azufre y nitrógeno y el material particulado. La eficiencia de este proceso es mayor siempre que las concentraciones de estas impurezas estén alrededor de menos de 10 ppm (partículas por millón) y por debajo de 2 micras de tamaño³⁸.

Dentro de las tecnologías que pueden realizar la remoción del material particulado están la caldera cerámica, filtros cerámicos y los filtros de lechos granulares precipitadores electrostáticos de alta temperatura y presión. sin embargo, también hay métodos para la desulfuración del syngas. que se diferencian por realizarse en el mismo lecho en donde ocurre la gasificación “in bed”, o fuera del lecho “ex bed”. Esto con fin de utilizar agentes sólidos con la capacidad de reaccionar para extraer los sulfuros.

Debido a su naturaleza sólida, la caliza y la dolomita se inyectan como agentes absorbentes de azufre dentro del lecho. Por lo general estos alcanzan un grado de contaminación que no permite su reuso. Al interactuar con los gases es importante el control de la temperatura que debe permanecer alrededor de 850°C ; y de la velocidad de calcinación que depende de la cantidad de CO_2 y H_2O de los gases³⁹.

Por otro lado, están los óxidos metálicos utilizados fuera del lecho, que pueden regenerarse para su reuso. Teniendo en cuenta que esas reacciones químicas pueden liberar energía, se necesita controlar su fluido para disminuir la concentración.

³⁸ WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: Biomass and Bioenergy. vol. 52, p. 54-84

³⁹ WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: Biomass and Bioenergy. vol. 52, p. 54-84

1.4.2 Limpieza y tratamiento del biogás. El biogás obtenido en la digestión anaerobia debe ser depurado para su empleo por medio de cualquiera de los dos procesos de depuración existentes: la limpieza, que estará destinada a eliminar los compuestos minoritarios presentes en el gas; o la mejora, que se utiliza para ajustar su poder calorífico.⁴⁰

Cuando el biogás debe ser utilizado en combustión directa (cocina de gas) es recomendable que el poder calorífico sea elevado, mediante el aumento de la concentración de metano. Pero si va a ser utilizado o inyectado en un motor de combustión interna, el aumento en la concentración de metano es necesario, tanto como la eliminación de compuestos que puedan causar daños a los motores. Entre estos compuestos se deben destacar el H_2S Ácido sulfhídrico y el vapor de agua.⁴¹

Además de metano, el biogás puede contener dióxido de carbón, agua, sulfuro de hidrogeno, nitrógeno, oxígeno, amoniaco, siloxanos y partículas. Las concentraciones de cada impureza dependen del propio sustrato empleado en la biodigestión. En la **Tabla 5**, pueden verse las impurezas más comunes de este gas.⁴²

Tabla 5. Impurezas del biogás

Impurity	Possible Impact
Water	Corrosion in compressors, gas storage tanks and engines due to reaction with H_2S , NH_3 and CO_2 to form acids Accumulation of water in pipes Condensation and/or freezing due to high pressure
Dust	Clogging due to deposition in compressors, gas storage tanks
H_2S	Corrosion in compressors, gas storage tanks and engines Toxic concentrations of H_2S ($> 5 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$) remain in the biogas SO_2 and SO_3 are formed due to combustion, which are more toxic than H_2S and cause corrosion with water
CO_2	Low calorific value
Siloxanes	Formation of SiO_2 and microcrystalline quartz due to combustion; deposition at spark plugs, valves and cylinder heads abrading the surface
Hydrocarbons	Corrosion in engines due to combustion
NH_3	Corrosion when dissolved in water
O_2 /air	Explosive mixtures due to high concentrations of O_2 in biogas
Cl^-	Corrosion in combustion engines
F^-	Corrosion in combustion engines

Fuente:(Ryckebosch et al. 2011)

⁴⁰ DEUBLEIN,Dieter y STEINHAUSER,Angelika. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. John Wiley & Sons, 2011.p. 30-36

⁴¹ DEUBLEIN,Dieter y STEINHAUSER,Angelika. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. John Wiley & Sons, 2011.p 30-36

⁴² PETERSSON,Anneli y WELLINGER,Arthur. Biogas upgrading technologies—developments and innovations. En: IEA Bioenergy. vol. 20,p30-36

El ácido sulfhídrico es capaz de dañar metales como el hierro, el acero, el cobre y la plata, pero además si se combina con oxígeno H_2SO_4 (ácido sulfúrico) puede ser altamente corrosivo. El contenido de CO_2 del biogás suele oscilar entre 30-45% y el de vapor de agua puede alcanzar el 6%⁴³.

Existen varios métodos utilizados para la limpieza del biogás; la selección de cada uno dependerá de varios factores, tales como la complejidad, costos de implementación, su eficiencia en el proceso y el uso final del biogás.

En la **Tabla 5**, se observan los diferentes tipos de impurezas del biogás y los posibles impactos según sus diversas aplicaciones. El uso del biogás en un motor de combustión interna requiere el tratamiento de impurezas específicas, es decir, un tratamiento de mejora.

Limpieza: Reduce la humedad y reduce la cantidad de ácido sulfhídrico (H_2S), utilizando métodos que generalmente comprimen el gas para remover cierto porcentaje de estos elementos.

1.4.2.1 Eliminación de agua. El vapor de agua puede eliminarse mediante dos procedimientos: por condensación en ciclones, trampas de agua, o en mallas con microporos conocidas como demisters (eliminadores de vapor), y por absorción en compuestos como gel de sílice, alúmina, trietilenglicol, o sales higroscópicas.

1.4.2.2 Eliminación de los sulfuros. Existen varias tecnologías, algunas realizadas dentro del biodigestor (in situ), y otras por fuera de este (ex situ). Tales tecnologías son:

Adición de cloruros de hierro ($FeCl_2$, $FeCl_3$) in situ: Busca la precipitación de sulfuro dentro del biodigestor a una forma más estable, requiriendo sólo un tanque de mezclado adicional y una bomba de dosificación.

Filtros de hierro o zinc ex situ: Aplicación de lanas de acero, viruta limonita y astilla (Fe_2O_3 , $Fe(OH)_3$, ZnO , $Zn(OH)_2$). Para esta tecnología se requieren equipos comunes con un recipiente para los agentes ferríticos quelantes en donde se inyecta el biogás. Si el biogás tiene concentración de oxígeno solo se utiliza un tanque con aire para regenerar los iones de Fe^{3+} . En caso contrario se deben utilizar dos tanques, uno para la desculturización de biogás, y otro con aire para regenerar los iones de Fe^{3+} . Entre sus desventajas están los altos costos y el peligro de ignición que comporta la necesidad de regeneración, pues es un proceso endotérmico (óptimo entre 25-50°C).⁴⁴

⁴³ PETERSSON, Anneli y WELLINGER, Arthur. Biogas upgrading technologies—developments and innovations. En: IEA Bioenergy. vol. 20,

⁴⁴ ABATZOGLOU, Nicolas y BOIVIN, Steve. A review of biogas purification processes. En: Biofuels, Bioproducts and Biorefining. vol. 3, no. 1, p. 42-71

Absorción en fluidos a contracorriente ex situ: Se realiza a presión por borboteo, con (H_2O , $H_2O + NaOH$, $Fe(OH)^3$, $Fe^2(SO_4)^3$). Presentan alta eficiencia (entre 90-100%), Los equipos son complejos con aguas residuales del proceso y presenta alto consumo de los reactivos.

Membrana selectiva ex situ: Presenta eficiencias superiores al 98%, pero sus costos de implementación son altos.

Absorción en carbón activado impregnado ex situ: Presenta alta eficiencia, con altos costos de operación y pérdidas de metano CH_4 .

Filtros biológicos ex situ: Se realiza con la presencia de aire. Presenta bajos costos, elimina el NH_3 , sin embargo, la presencia de aire le adiciona O_2 y N_2 . al gas depurado, con bajos rendimientos para inyectar a la red.

1.4.2.3 Mejora (Upgrading). Busca aumentar el poder calorífico del biogás reduciendo la cantidad de CO_2 . Por lo general, si lo que se desea es obtener biometano con una concentración de CH_4 . entre el 97 y 98%, se deben tener en cuenta estas tecnologías:

Absorción de CO_2 . con zeolitas: Bajo presiones altas la eficiencia del proceso es de 95-80%, sin embargo, requiere altos costos de inversión debe considerarse la regeneración de columna⁴⁵.

Lavado químico con solución aminas: La eficiencia del proceso es de 95-98%, aunque requiere de una desulfuración previa para su aplicación. Conlleva de igual manera altos costos de inversión.

Separación con membranas: Se realiza con filtros permeables al H_2 , con presiones altas de alrededor de 16-40 Bares. El proceso alcanza una eficiencia del 96% y requiere bajos costos de inversión. Eliminando simultáneamente compuestos de H_2S y H_2O . Sin embargo, se debe considerar la pérdida de metano por la permeabilidad de la membrana⁴⁶.

Lavado químico con solventes orgánicos: Solventes como el polietilenglicol alcanzan una eficiencia del proceso mayor al 97%, eliminando simultáneamente compuestos de H_2S , H_2O , H_2N y NH_3 , Requiere altos costos de inversión.

Destilación criogénica: Realiza la sublimación y evaporación del CO_2 , alcanzando eficiencias del proceso entre el 90-98%, aunque requiere altos costos de inversión.

⁴⁵ BIERNAT,Krzysztof; GIS,Wojciech y SAMSON-BRĘK,Izabela. Review of technology for cleaning biogas to natural gas quality. En: Silniki Spalinowe. vol. 51,

⁴⁶ MCKINSEY,ZS. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow manure compost. En: A Thesis Faculty of the Graduate School of Cornell University.

Lavado con agua (PWS): Se realiza a contra presión, basándose en el aumento de la solubilidad del CO_2 en el agua aumentando la temperatura y la presión.

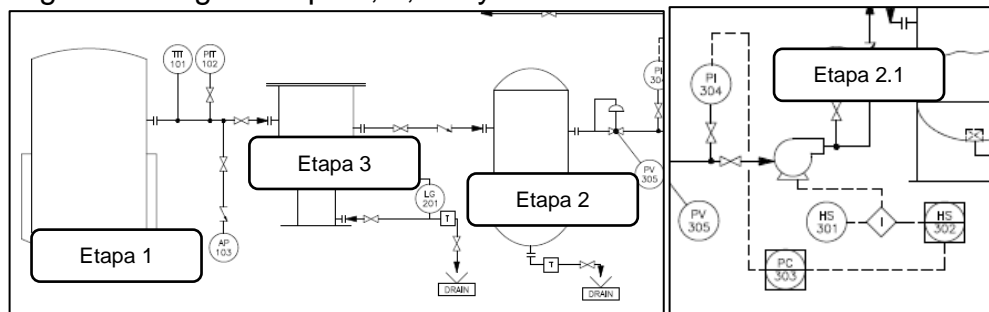
2. PARÁMETROS DEL SISTEMA

En este capítulo se hace la selección de los equipos que conformarán el sistema de limpieza para cada uno de los gases, aplicando los conceptos, requerimientos y métodos ya desarrollados y que se pueden usar dependiendo de la exigencia y complejidad del proceso. La selección de dichos equipos e instrumentos se hace inicialmente a escala industrial, para luego reducir la cantidad de instrumentos, dado que a escala laboratorio no es recomendable por motivos de inversión, espacio, flexibilidad en su manejo y escalabilidad. El proyecto hace énfasis en el sistema como un proceso con fines investigativos.

2.1 PARÁMETROS PARA EL BIOGÁS

Para el proceso de limpieza del biogás se establecen las etapas descritas en la Figura 6.

Figura 6. Biogás: etapa 1, 2, 2.1 y 3



La etapa uno 1 corresponde al biodigestor, que consiste en una línea de toma del gas para determinar sus condiciones.

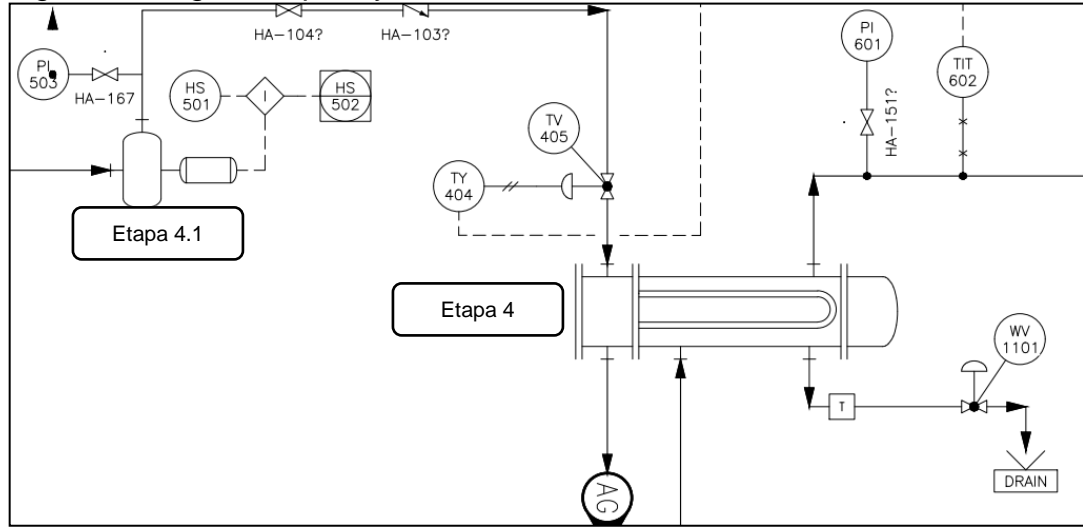
La segunda 2 etapa consiste en un tanque pulsador que mantendrá el valor de presión de la producción de gas más constante. Recordemos que la producción de este gas es lenta, por eso la necesidad de regular el flujo del aire.

La etapa 2.1 consiste en una bomba encargada de aumentar la presión para la entrada a la torre de lavado, donde se debe subir aproximadamente a 4 bar⁴⁷.

La etapa 3 corresponde a un filtro de grava que se encargara de retener las partículas solidas suspendidas que pueda tener el biogás, ya sea por el tipo de biomasa y las condiciones del biodigestor, al contener trazas que reflejan proceso de biodigestion incompleto. Este tanque de igual manera por la caída de presión que genera alcanzara a condensar parte de la humedad del biogás

⁴⁷ PETERSSON, Anneli y WELLINGER, Arthur. Biogas upgrading technologies—developments and innovations. En: IEA Bioenergy. vol. 20,

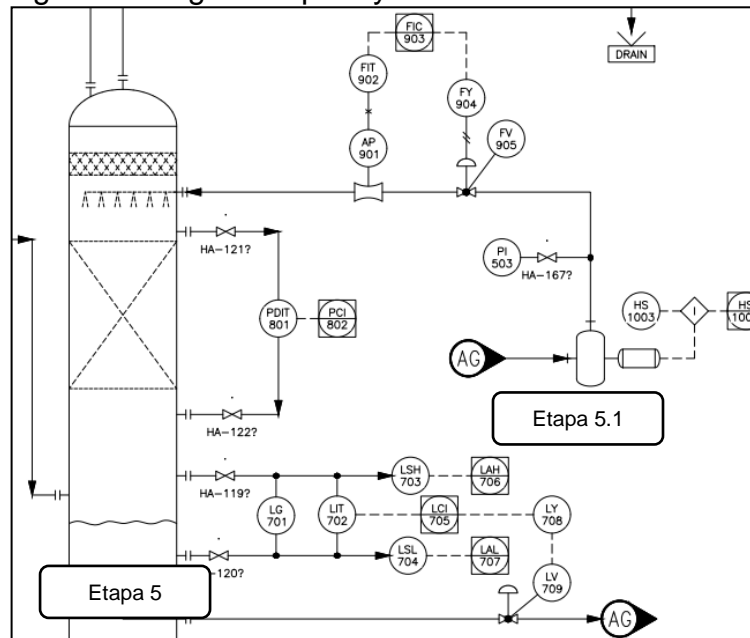
Figura 7. Biogás: etapa 4 y 4.1



La etapa 4 consta de un intercambiador de calor que permite bajar la temperatura del gas para mejorar el rendimiento y la solubilidad de biogás en la torre de lavado. En este equipo se realizará un control sobre el flujo del agua mediante la apertura de una válvula, **Figura 7**.

La etapa 4.1 también corresponde al intercambiador de calor, pero aquí este está encargado del control del encendido on/off de la bomba, **Figura 7**.

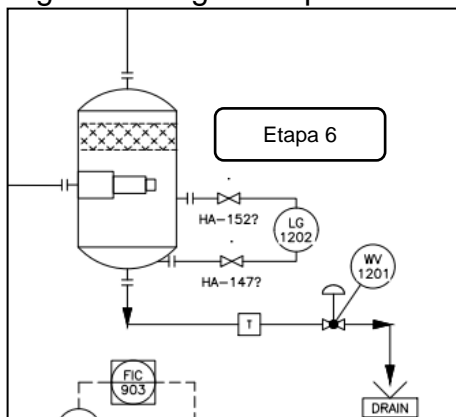
Figura 8. Biogás: etapa 5 y 5.1



La etapa 5 está encargada de la torre de lavado que realiza la mejora del gas al exponerlo a un chorro de agua en aspersion en contraflujo. Esta torre requiere control del nivel y flujo de agua mediante una válvula⁴⁸, **Figura 8**.

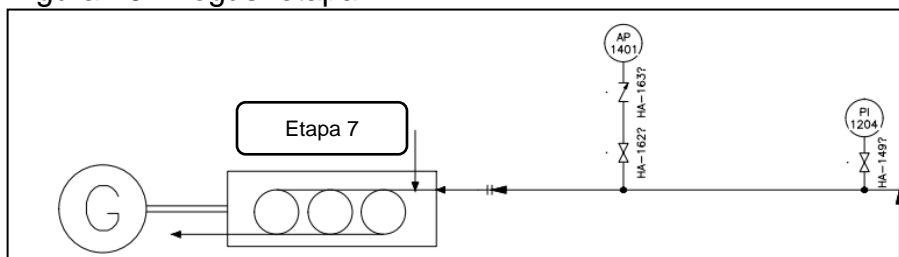
La etapa 5.1 al igual que el intercambiador, corresponde al control del encendido y apagado de la bomba.

Figura 9. Biogás: etapa 6



La etapa 6 se determinó por la necesidad de un desnebulizador ya que, al salir el gas de la torre de lavado, el aumento de su humedad podría generar una corrosión prematura en el motor. Es importante aquí el control del nivel del desnebulizador, **Figura 9**.

Figura 10. Biogás: etapa 7



La etapa 7 corresponde al motor por el que, al ser el elemento final del proceso, es importante asegurar la calidad del gas. Para ello se requiere un punto de prueba para la toma de datos después de realizar el proceso de limpieza, **Figura 10**.

2.2 ETAPAS DE ADAPTACIÓN PARA EL GAS DE SÍNTESIS

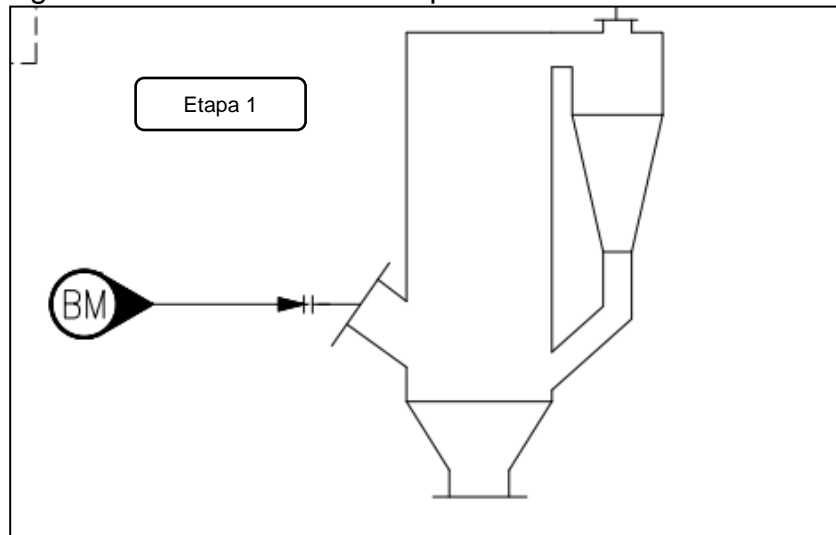
Como se mencionó anteriormente, este proceso se desarrolló en un proyecto de grado dentro del grupo de investigación de energías alternativas de la Fundación

⁴⁸ DEUBLEIN, Dieter y STEINHAUSER, Angelika. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. John Wiley & Sons, 2011.

Universidad América⁴⁹, El proceso se define por el tipo de impurezas que contiene el gas como polvos y grasas que deben ser removidas, aunque la principal es el alquitrán, que exige una limpieza estricta.

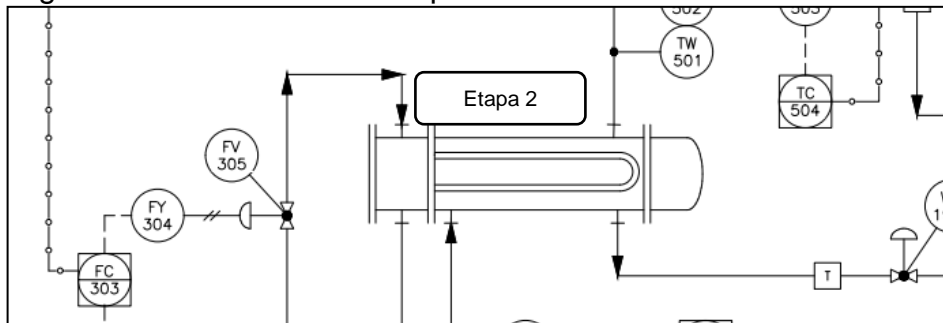
Para el proceso de limpieza del gas de síntesis se establecieron las siguientes etapas en el sistema:

Figura 11. Gas de síntesis etapa 1



La etapa 1 del proceso de limpieza del gas de síntesis parte del mismo gasificador, que proporciona un gas con las impurezas ya mencionadas, a una temperatura de 850°C, **Figura 11**.

Figura 12 Gas de síntesis etapa 2



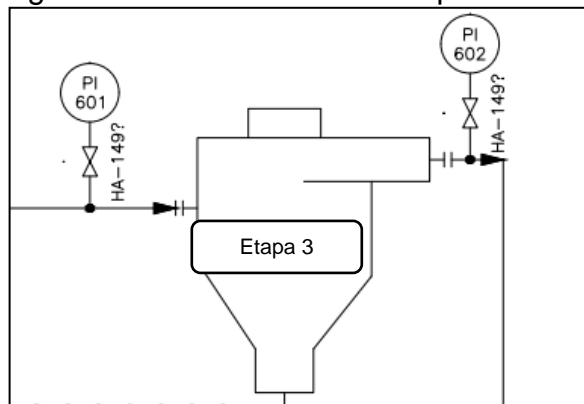
La etapa 2 corresponde a un intercambiador de calor. Este equipo es el más crítico de todo el proceso debido al rango de temperaturas bajo las cuales funciona; reduce la temperatura de entrada del gas de cerca de 800°C a 380°C para la eliminación

⁴⁹ SUÁREZ PORRAS, Daniel Valencia y BAUTISTA, David Felipe. Diseño a escala laboratorio del sistema de acondicionamiento del gas de síntesis para un motor de combustión interna. [Print(0)]. [Consultado el 5/12/2017]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6048>

de las partículas de alquitrán más grandes, **Figura 12**. Por esta razón es necesario controlar el flujo de agua dependiendo de la temperatura del gas⁵⁰.

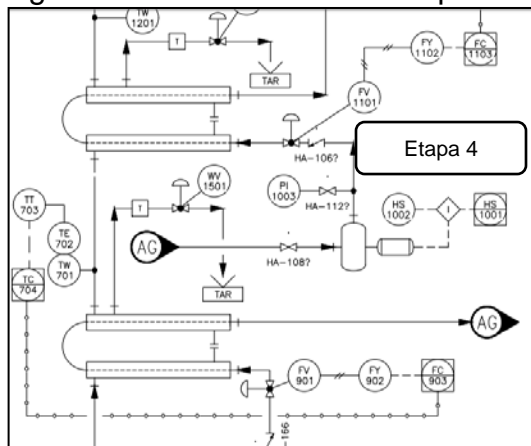
Esta etapa también usa una bomba de control de presión de flujo de agua con un mecanismo de activación on/off.

Figura 13. Gas de síntesis: etapa 3



En la etapa 3 el equipo que interviene es el ciclón de partículas, encargado de la eliminación de las partículas de polvo más grandes, **Figura 13**. Se recomienda un control de las pérdidas de presión que estos generan en el sistema⁵¹.

Figura 14. Gas de síntesis: etapa 4



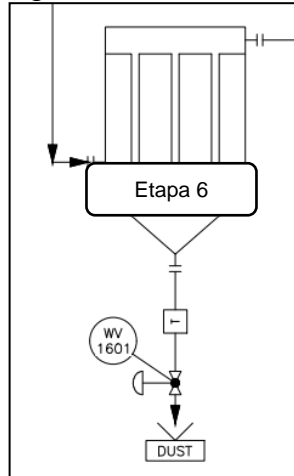
La etapa número 4 consiste en dos intercambiadores de calor, ambos con temperaturas diferentes, para la eliminación de partículas de alquitrán, **Figura 14**. Los intercambiadores requieren el monitoreo de la temperatura del gas para que siempre sea la deseada y, en caso contrario, el control del flujo de agua por medio

⁵⁰ ANIS,Samsudin y ZAINAL,ZA. Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 15, no. 5, p. 2355-2377

⁵¹ KUMAR,Ajay; JONES,David D. y HANNA,Milford A. Thermochemical biomass gasification: a review of the current status of the technology. En: Energies. vol. 2, no. 3, p. 556-581

de válvulas y bombas con un control on/off para la regulación de la temperatura de salida del gas⁵².

Figura 15. Gas de síntesis: etapa 5



En la etapa 5 se usa un filtro de mangas para la eliminación de partículas más finas, **Figura 15**. Este equipo no requiere un control minucioso de variables; tan sólo mantener en el depósito las partículas precipitadas.

2.3 PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Los elementos primarios expuestos anteriormente trabajan bajo ciertas condiciones que requieren una medición que permita posteriormente controlarlas y realizar la automatización a las condiciones que se requieren, para tener control y aprovechar el gas en un motor de combustión interna.

Por eso se hablará de las variables a considerar en nuestros sistemas, para entender qué se va a controlar y por qué razón es relevante para el sistema.

2.3.1 Caudal. Existen de manera general dos clasificaciones para los elementos medidores de caudal. Los medidores que relacionan la cantidad de caudal en volumen de un fluido, llamados medidores tipo volumétrico y los que relacionan la cantidad de caudal en masa de un fluido. La selección de cada uno depende del objetivo en la medición.

Los medidores tipo volumétricos se pueden presentar por medio de medidas directas o indirectas, dependiendo de si el caudal es adquirido con cálculos o relaciones de otras medidas (indirecto), o si no (directo). En los medidores directos se pueden encontrar los que son por desplazamiento y, en los indirectos, los de

⁵² WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: Biomass and Bioenergy. vol. 52, p. 54-84

presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, (y / o) torbellino. Estos últimos son los que más variaciones y alternativas tienen, siendo muy apetecidos a nivel industrial⁵³

2.3.2 Temperatura. La medida de la temperatura es una variable común a medir en cualquier proceso industrial ya que afecta siempre de manera directa los procesos. Según las circunstancias de funcionamiento esta variable se puede medir mediante: termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas y vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de ultrasonido y termómetros de cristales de cuarzo⁵⁴.

La selección del elemento primario que se adecue a nuestro sistema depende de las condiciones de operación: el tipo de fluido a tratar, el rango de operación de la temperatura, tipo de sector, presupuesto, mantenimiento, etc.

2.3.3 Presión. La presión, cuya medición se realizará con un sensor, es la otra variable por considerar en nuestros procesos de limpieza o mejoramiento. Existen sensores de presión absoluta o diferencial⁵⁵.

En el proyecto se escogerán sensores que brinden los datos de análisis necesarios para el diseño de automatización de los gases.

⁵³ SOLÉ, Antonio Creus. Instrumentación Industrial. Marcombo, 2012. P. 68

⁵⁴ RODRÍGUEZ, José. Instrumentación Industrial. En: Folleto Didáctico, ESPE-L, Latacunga. p. 620-626 SOLÉ, P. 146

⁵⁵ RODRÍGUEZ, José. Instrumentación Industrial. En: Folleto Didáctico, ESPE-L, Latacunga. p. 620-626 P. 145

2.3.4 Peso. Esta variable se tiene en cuenta especialmente en el proceso de limpieza del gas de síntesis. El alquitrán podría causar obstrucciones y disminuir la eficiencia estimada de los intercambiadores del sistema, razón por la que no se puede permitir su acumulación y su remoción es primordial. Esto no requiere grandes equipos, sino que se puede realizar por medio de balanzas o sistemas accionados por resortes⁵⁶.

2.3.5 Ph. El pH permite saber cómo se encuentra la acidez o la alcalinidad del gas después de ser procesado, y si existe alguna variación del gas y cómo se está presentando dicha variación. Todo esto teniendo en cuenta que el objetivo de la limpieza de los gases es la eliminación o la reducción de los elementos sobrantes o que no permitan un mejor aprovechamiento del gas⁵⁷.

2.3.6 Concentración del gas. concentración del gas permite saber qué está pasando en cada uno de los procesos para trabajar sobre condiciones reales, y para realizar una calibración al sistema bajo estas condiciones. La cantidad de gas metano influye en la calidad del gas por lo que, a mayor concentración de metano, mayor calidad del gas. En esto radica la importancia de conocer su concentración⁵⁸.

Esta medición se puede realizar por conductividad térmica, por magnetismo del oxígeno y por analizador de infrarrojos.

⁵⁶ SOISSON, Harold E. y RODRÍGUEZ, Hortensia Corona. Instrumentación Industrial. Limusa, 1980. P. 24

⁵⁷ CASTRO, PO y CAMACHO, EF. Control e instrumentación de procesos químicos. En: Síntesis. P. 56

⁵⁸ CASTRO, PO y CAMACHO, EF. Control e instrumentación de procesos químicos. En: Síntesis. P. 63

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En el capítulo anterior se aclararon los parámetros que se van a involucrar en el diseño del sistema de control para cada gas, y se expusieron las variables que influyen en cada equipo y su importancia.

En la **Tabla 6** se muestra un ejemplo de cómo están distribuidos los lazos de control en los diagramas de proceso de limpieza de ambos gases, en los Anexo F y Anexo G se dejan consignados todas las tablas referentes a los dos procesos

Tabla 6. Lazo de control 200, proceso biogás

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Válvula de presión	Presión del gas	Apertura de la válvula	Abierto	201

Cómo se puede ver, las tablas permiten entender cuál de los parámetros de medición expuestos en el capítulo anterior, está involucrado en el lazo y cómo se relacionan las variables a controlar y la variable a manipular

3.1 VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE BIOGÁS

A continuación, se mencionan las variables involucradas en las diferentes etapas del proceso de limpieza del biogás, así como la importancia de su control y manipulación.

3.1.1 Etapa 1. En esta etapa interviene el biodigestor. Aquí no se realizará ningún control ni se manipulará alguna variable es la zona de producción del gas en cuestión, tan solo se recomienda el uso medidor de temperatura y presión, con el fin de chequear las condiciones de salida del biogás. A partir del gasificador se recibirá un gas con impurezas que se irán tratando justo después de su generación.

3.1.2 Etapa 2 Esta etapa un tanque de pulsaciones controlará la presión de gas con la apertura de una válvula tipo regulador ubicada a la salida del tanque. La producción del biogás es más lenta y por tanto la presión del gas baja, aunque esto no es conveniente para alimentar el sistema de limpieza. El tanque también puede funcionar para almacenar el biogás y tener un flujo contrastante.

3.1.3 Etapa 3. Esta etapa corresponde a un filtro de grava, para atrapar las partículas sólidas volátiles que se puedan suspender en el gas y de igual manera se decantan y por la caída de presión que esto genera también condensa parte de la humedad que tiene el biogás. Para este equipo se supervisará el indicador de nivel para no sobrepasar la capacidad del tanque.

3.1.4 Etapa 4. En esta etapa se disminuye la temperatura del gas, que viene del biodigestor cerca de 80°C, a una temperatura ambiente aproximada que permita la solubilidad del gas en la torre de lavado, ya que esta mejora a bajas temperaturas.

El control del flujo del agua se hará con una válvula de bola con actuador eléctrico que realizará el cambio del porcentaje de apertura por medio de un software para tener la temperatura de salida del gas bajo los rangos permitidos.

3.1.5 Etapa 5. Es una etapa importante del sistema puesto que es el principal elemento para la mejora y limpieza del gas, y el control de las variables de presión, flujo y nivel son importantes en el sistema. Contempla los lazos 700, 800, 900 y 1000.

3.1.6 Etapa 6. En esta última etapa se hará control manual del nivel del agua, ya que este no requiere un control complejo. Cuando el nivel del agua supere los límites permitidos de condensado, su evacuación se puede realizar de manera compleja sin alterar el proceso de limpieza o poner el peligro al operario.

3.2 VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE GAS DE SÍNTESIS

En este apartado se hablará de las variables involucradas en el proceso del gas de síntesis. Recordemos que estas etapas vienen estipuladas previamente por el trabajo de investigación que se realizó en la Fundación Universidad de América.

3.2.1 Etapa 1. La etapa uno corresponde a la producción del gas, en este caso al gasificador, que proporciona el gas a tratar. Al ser un dispositivo que está fuera del proceso de limpieza, se hace necesario la medición de presión y temperatura a la salida con el fin de verificar sus condiciones.

En el caso del gas de síntesis se hace énfasis en el tratamiento de alquitranes además de la temperatura de salida del gasificador, que de acuerdo con los trabajos previos desarrollados por el grupo de investigación de energías alternativas es de 850°C aproximadamente.

3.2.2 Etapa 2. En esta etapa interviene un intercambiador que reducirá la temperatura del gas de 850°C a 385°C. Debido a este cambio alto de temperatura, el control del intercambiador debe ser cuidadoso. Los lazos involucrados son los 300, 400 y 500. El control del flujo del agua aquí es de gran importancia y se realiza por medio de una bomba. La variable manipulada es la apertura de la válvula para el control de la variable de la temperatura de salida del gas.⁵⁹

Cómo se mencionó anteriormente, el objetivo es la disminución paulatina de la temperatura y la separación del alquitrán del gas. Debido a los diversos puntos de fusión de los diferentes tipos de alquitranes, con este intercambiador se busca retirar el alquitrán que tenga un punto de fusión más alto.

3.2.3 Etapa 3. Debido al modo de producir el gas que proviene de la gasificación de material orgánico, este contiene trazas e impurezas sólidas de diversos tamaños. El ciclón tendrá un control de variables o un control específico, pero se recomienda instalar indicadores de presión para cuidar las caídas de presión.

3.2.4 Etapa 4 En esta etapa encontramos 3 intercambiadores encargados de tratar los diferentes tamaños de alquitranes. El primer intercambiador reduce la temperatura a 250°C y ayuda a condensar los alquitranes más pesados. El tercero reduce la temperatura a 80°C para condensar los alquitranes más ligeros y el cuarto reduce la temperatura a 40°C para condensar la humedad del gas de síntesis⁶⁰.

3.2.5 Etapa 5. El filtro de mangas requiere un control sobre la cantidad de polvo o impurezas sólidas que son retiradas. Esta etapa final permite la eliminación y terminar de asegurar una limpieza completa del sistema para entregar un gas con condiciones óptimas para su uso en el motor de combustión interna.

3.3 LISTADO DE LOS ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN

En este apartado se describen los instrumentos o elementos primarios requeridos en cada sistema, así como algunas recomendaciones de equipos que podrían controlar las variables físicas, y simultáneamente transmitir datos al software.

3.3.1 Instrumentación para el proceso de limpieza del biogás. La

Tabla 7 muestra la lista de instrumentos generales del biogás y el punto relevante de cada uno de los lazos de control determinados para el proceso de limpieza del biogás.

⁵⁹ SUÁREZ PORRAS, Daniel Valencia y BAUTISTA, David Felipe. Diseño a escala laboratorio del sistema de acondicionamiento del gas de síntesis para un motor de combustión interna. [Print(0)]. [Consultado el 5/12/20172017]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6048>

⁶⁰ Ibid. P 52.

Tabla 7. Lista instrumentos generales del biogás.

Núm. Id	Descripción
101	Punto de prueba
102	Indicador y transmisor de presión
103	Indicador y transmisor de temperatura
201	Indicador de nivel
304	Indicador y transmisor de presión
301	Encendido bomba
405	Válvula de control
501	Encendido bomba
503	Indicador diferencial presión
601	Indicador de presión
602	Indicador de temperatura
702	Indicador de nivel
801	Indicador y transmisor de presión
901	Indicador de presión
905	Válvula de flujo
1001	Indicador de presión
1101	Válvula de peso
1201	Indicador de peso
1202	Mirilla de nivel
1203	Indicador de presión
1204	Indicador de presión
1301	pH metro
1401	Punto de prueba

Tabla 8. Equipos con variables relacionadas

Etapas	Equipo relacionado	Ítem	Descripción	Variable	Rangos de medición
1	Biodigestor	101	Indicador de temperatura	Temperatura a la salida	20 – 60 °C
		102	Indicador de presión	Presión a la salida	< 50 mbar
		103	Punto de prueba	Concentración de gas	0-100%
2	Tanque de pulsaciones	201	Válvula reguladora	Manipula Presión del gas	0-10 bar
3	Filtro de grava	201	Mirilla de vidrio	Control nivel condensados	0-10 cm
4	Intercambiador de calor	405	Válvula de control	Control flujo de agua en el intercambiador	0-100%
		602	Termocupla	Manipulación temperatura gas	0-100°c
	Bomba	500	Bomba aumento de presión	Control encendido	On -off
		503	Indicador de presión	Presión diferencial del agua	0-50 bar
5	Torre de lavado	701	Mirilla nivel	Control nivel condensado	0-20cm
		702	Sensor de capacitancia	Manipulación nivel condensado	0-20 cm

Tabla 8. (Continuación)

Etapas	Equipo relacionado	Ítem	Descripción	Variable	Rangos de medición
5	Torre de lavado	801	Indicador de presión	caídas de presión	0-5 bar
		601	Indicador de presión	Presión con la que entra a la torre	4-7 bar
		1301	Ph metro	acides del biogás	6-8.5
6	Bomba	305	Bomba aumento presión	Presión entrada torre de lavado	4-7 bar
7	Desnebulizador	1203	Indicador presión	Control presión gas	0-50 bar
		1202	Mirilla de vidrio	Control Nivel condensado	10 cm
		1201	Válvula de bola	Manipular Apertura válvula	0-100%

En la Tabla 8 se determinan las variables que influyen en cada equipo durante el proceso y que deben tenerse en cuenta para la selección de instrumentación. Conociendo además si la variable será controlada o manipulada.

A continuación, se explican los instrumentos y equipos requeridos dentro del sistema de biogás.

3.3.1.1 Instrumentación para la Etapa 1. Para la primera etapa, en la cual se encuentra el biodigestor, consta de un punto de prueba cuya instalación requiere adicionar una unión junto con un nipple para el roscado de una válvula de bola para apertura manual que sería manipulada por el operador, quien tomaría la prueba a su consideración. Válvula apreciada en la **Figura 16**, cuyas características están en la **Tabla 9** la cual sería manipulada por el operador, el cual tomaría la prueba a su consideración.

Figura 16. Válvula de bola



Fuente: vuototecnica. Válvulas De Vacío Manuales De 2 y 3 Vías. [Print(0)].
[Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <http://www.vuototecnica.es/product/143/es/4.10.pdf>

Tabla 9. Especificaciones válvula de bola

VÁLVULAS MANUALES DE 2 VÍAS

Art.	A	B	C	D Ø	E	F	G	L	Peso Kg
13 01 10	49	23	48	G1/4"	24	25	18	80	0.13
13 02 10	52	23	56	G3/8"	23	29	20	80	0.13
13 03 10	61	30	63	G1/2"	30	31	25	88	0.21
13 04 10	68	36	72	G3/4"	33	35	31	114	0.32
13 05 10	85	44	80	G1"	42	43	38	113	0.47
13 06 10	99	57	105	G1" 1/4	50	49	47	137	0.74
13 07 10	109	70	126	G1" 1/2	55	54	54	156	1.26
13 08 10	130	83	135	G2"	62	68	66	156	1.77
13 09 10	168	140	210	G3"	84	84	99	246	7.09

Dibujos 3D disponibles en la página www.vuototecnica.net

Fuente: vuototecnica. Válvulas De Vacío Manuales De 2 y 3 Vías. [Print(0)].
[Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <http://www.vuototecnica.es/product/143/es/4.10.pdf>

En esta primera etapa tambien se recomienda el uso de un trasmisor indicador de presion Coplanar Rosemount 3051C, de la **Figura 17**, el cual esta disponible en una gran variedad de rangos de presion, donde para este caso se recomienda usar el que comprende entre -62,2 a 62,2 mbar.

Figura 17. Indicador y trasmisor de presión.



Fuente: Emerson [Print(0)]. [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <http://www.emerson.com/documents/automation/73192.pdf>

Tabla 10. Especificaciones indicador trasmisor de presión.

Rango de presiones				
	3051CD	3051CG	3051CA	
Estándar				Estándar
1	-62,2 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H ₂ O)	-62,1 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H ₂ O)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)	★
2	-623 a 623 mbar (-250 a 250 inH ₂ O)	-62,1 a 623 mbar (-25 a 250 pulg. H ₂ O)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)	★
3	-2,5 a 2,5 bar (-1000 a 1000 pulg. H ₂ O)	-0,98 a 2,5 bar (-393 a 1000 pulg. H ₂ O)	0 a 55,2 bar (0 a 800 psia)	★
4	-20,7 a 20,7 bar (-300 a 300 psi)	-0,98 a 20,7 bar (-14,2 a 300 psi)	0 a 275,8 bar (0 a 4000 psia)	★
5	-137,9 to 137,9 bar (-2000 to 2000 psi)	-0,98 a 137,9 bar (-14,2 a 2000 psi)	No aplicable	★
Salida del transmisor				
Estándar				Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART			★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION			★
V ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA			★
Ampliado				
M	Baja potencia, 1–5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART (consultar la Opción C2 para 0,8–3,2 Vcc)			

Fuente: Emerson [Print(0)]. [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <http://www.emerson.com/documents/automation/73192.pdf>.

Para este indicador trasmisor de presion, se tiene una señal de corriente que va desde 4 a 20 mA como se ve en la **Tabla 10**.

Por ultimo, en esta etapa para medir temperatura, se recomienda el uso de un indicador transmisor de temperatura Rosemount 3144P, como se ve en la **Figura 18**, el cual para este caso, el rango que mas se adapta a las necesidades es el de -50 a 200 °C, por consiguiente requiere el uso de una Cu 10, que envia señales de corriente entre 4 a 20 mA, como se ve en **Tabla 11**.

Figura 18. Indicador y transmisor de temperatura.



Fuente: Emerson [Print(0)].
[Consultado el 8/8/20172017].
Disponible
en: <http://www.emerson.com/documents/automation/87892.pdf>

Tabla 11. Especificaciones de transmisor indicador de temperatura.

Opciones de sensor	Referencia del sensor	Rangos de entrada		Span mínimo ⁽¹⁾		Precisión digital ⁽²⁾		Precisión ampliada ⁽³⁾	Precisión d/A ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	
Termorresistencias de 2, 3 y 4 hilos		°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C		
Pt 100 (α = 0,00385)	IEC 751	De -200 a 850	De -328 a 1562	10	18	± 0,10	± 0,18	± 0,08	± 0,02% del span	
Pt 200 (α = 0,00385)	IEC 751	De -200 a 850	De -328 a 1562	10	18	± 0,22	± 0,40	± 0,176	± 0,02% del span	
Pt 500 (α = 0,00385)	IEC 751	De -200 a 850	De -328 a 1562	10	18	± 0,14	± 0,25	± 0,112	± 0,02% del span	
Pt 1000 (α = 0,00385)	IEC 751	De -200 a 300	De -328 a 572	10	18	± 0,10	± 0,18	± 0,08	± 0,02% del span	
Pt 100 (α = 0,003916)	JIS 1604	De -200 a 645	De -328 a 1.193	10	18	± 0,10	± 0,18	± 0,08	± 0,02% del span	
Pt 200 (α = 0,003916)	JIS 1604	De -200 a 645	De -328 a 1.193	10	18	± 0,22	± 0,40	± 0,176	± 0,02% del span	
Ni 120	Curva Edison Nº 7	De -70 a 300	De -94 a 572	10	18	± 0,08	± 0,14	± 0,064	± 0,02% del span	
Cu 10	Bobinado de cobre Edison Nº 15	De -50 a 250	De -58 a 482	10	18	± 1,00	± 1,80	± 0,08	± 0,02% del span	
Pt 50 (α = 0,00391)	GOST 6651-94	De -200 a 550	De -328 a 1.022	10	18	± 0,20	± 0,36	± 0,16	± 0,02% del span	
Pt 100 (α = 0,00391)	GOST 6651-94	De -200 a 550	De -328 a 1.022	10	18	± 0,10	± 0,18	± 0,08	± 0,02% del span	
Cu 50 (α = 0,00426)	GOST 6651-94	De -50 a 200	De -58 a 392	10	18	± 0,34	± 0,61	± 0,272	± 0,02% del span	
Cu 50 (α = 0,00428)	GOST 6651-94	De -185 a 200	De -301 a 392	10	18	± 0,34	± 0,61	± 0,272	± 0,02% del span	
Cu 100 (α = 0,00426)	GOST 6651-94	De -50 a 200	De -58 a 392	10	18	± 0,17	± 0,31	± 0,136	± 0,02% del span	
Cu 100 (α = 0,00428)	GOST 6651-94	De -185 a 200	De -301 a 392	10	18	± 0,17	± 0,31	± 0,136	± 0,02% del span	
Salida del transmisor										
Estándar										
A	4-20 mA con señal digital basada en el protocolo HART									★
F	Señal digital FOUNDATION Fieldbus (incluye 3 bloques de funciones AI y el planificador activo de enlace de respaldo)									★

Fuente: Emerson [Print(0)]. [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible
en: <http://www.emerson.com/documents/automation/87892.pdf>

3.3.1.2 Instrumentación para la etapa 2. El siguiente equipo, es un tanque de pulsaciones y es la mostrada en la **Figura 19**, con sus características en la **Tabla 12**, que manipulara la variable de presión del sistema buscando su mejor regulación y que se debe tener unos rangos de presión entre los 0 – 10 bar según la bibliografía consultada. La válvula de bola se puede apreciar en la **Figura 20**, con sus características en la **Tabla 12**.

Figura 19. Servo válvula



Tabla 12. Especificaciones servo válvula

GENERAL DATA	
Power supply	24 VDC +/- 10%, stabilized, max. 0,8
Control signal	+/- 10 V 0-10 V 0-20 mA
Hysteresis	1% FS
Linearity	1% FS
Switching time	from 0 to 100%: approx. 5 ms +/- 100%: approx. 7 ms
Working temperature	from 0 to 50° C
Relative humidity of air	max. 90%
Direction of assembly	any
Maximum flow rate at 6 bar ΔP 1 bar	450 NI/min (4mm nominal diameter) 690 NI/min (6mm nominal diameter)
Medium	5 μ m filtered air, non aggressive gases
Supply pressure	-0,9 to 10 bar
Leakage	< 1% of maximum flow rate
Electrical connection	male connector M12 8 poles

Figura 20. Válvula de control de bola



Fuente: Praher 2-Way Ball Valve S4 PVDF Electric Actuator EO510 - Praher Plastics Austria GmbH [Print(0)]. [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <https://www.praher-plastics.com/product/praher-2-way-ball-valve-s4-pvdf-electric-actuator-eo510/>.

Tabla 13. Especificaciones válvula de control de bola

	EO510 IND-24	EO510 IND-230V
Voltages	12 – 24V AC/DC	100 – 230V AC
Frequency range	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Power consumption	8 Watt max.	
Protection	IP65	
Operating time	26 sec 90°	
Rotation angle	360° set to 90° 2 intermediate positions possible	
Duty duration	60% / max. 20 min	
Electrical connection	cable gland	
Nominal torque	7 Nm	
Peak torque	9 Nm	
Temperature	0°C bis + 50°C	
Body material	ABS	
Position indicator	optically (manual override handle)	
Manual override	integrated	

Fuente: Praher 2-Way Ball Valve S4 PVDF Electric Actuator EO510 - Praher Plastics Austria GmbH [Print(0)]. [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en: <https://www.praher-plastics.com/product/praher-2-way-ball-valve-s4-pvdf-electric-actuator-eo510/>.

3.3.1.3 Instrumentación para la etapa 3. Para el filtro de grava, se dispone de un indicador de nivel tipo flotador magnetico, por no requerir mediciones grandes de nivel al ser un equipo pequeño, este sensor marca Equitrol serie FG, como se ve en la **Figura 21**, envia señales de corriente entre 4 a 20 mA, segun la **Tabla 14**.

Figura 21. Sensor indicador de nivel

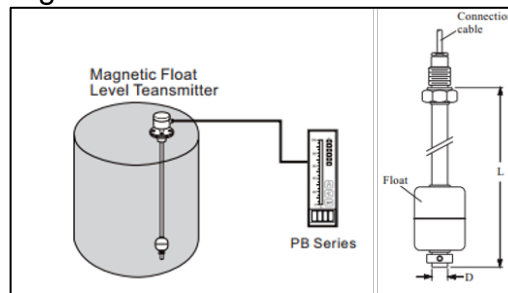


Tabla 14. Especificaciones indicador de nivel

Order No.	Connection	Tube size & Material (D)	Float type & Material	Suitable S.G.	Measuring Range
FG□-AR4	3/8"PF	φ14 SUS 304 SUS 316	S3: φ45x55 SUS 316 S4: φ52x52 SUS 316	>0.65 >0.55	FGA...Max.6M FGB...Max.6M
FG□-AR7	3/8"PF	φ17.2 SUS 304	S5: φ75x73 SUS 304 S6: φ75x108 SUS 304	>0.55 >0.5	FGA...Max.6M FGB...Max.6M
FGB-CR5P3	3/4"PF	φ17.2 PP	P3: φ48x45 PP	>0.6	FGB...Max.6M
FGB-CR6F4	3/4"PF	φ16 PVDF	F4: φ48x62 PVDF	>0.75	FGB...Max.6M
MODEL: TAB-2110 Transducer Power Supply : 12~36Vdc Output Current : Loop power 4~20mA Load Resistance : RL(Max)=50(Vs-8) Ambient Temperature : -40~80°C Ambient Humidity : 0~80% RH Accuracy : ± 0.1%(25°C) Temperature Effect : 0.01%F.S./°C Adjustment Range : Span Adjustment 20% FS Zero Adjustment 5% FS					

Fuente: Equitrol. Equipamientos De Control - EQUITROL [Print(0)].
 [Consultado el 8/8/20172017]. Disponible en:
http://www.equitrol.com/pdf/FGMagneticFloatLevelTransmitter_B0.pdf

3.3.1.4 Instrumentación para la etapa 4. En esta etapa debe aclararse cada una de las variables de manipulación y control involucradas, así como el tipo adecuado de instrumento ya que se encuentran dos equipos.

Se requiere un control de flujo con la apertura y cierre regulado de una valvula como la de la **Figura 22** con sus especificaiones en la **Tabla 15** y controlar el flujo del agua debido a que al ser el fluido de servicio requiere un control para asegurar la temperatura que se busca obtener a la salida del intercambiador para el fluido de proceso, el biogas, sea la indicada para el sistema.

Figura 22. Válvula de control



Fuente: prahe. Praher 2-Way Ball Valve S4 PVDF Electric Actuator EO510 - Praher Plastics Austria GmbH [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://www.praher-plastics.com/product/praher-2-way-ball-valve-s4-pvdf-electric-actuator-eo510/>.

Tabla 15. Especificaciones Válvula de bola de control

	EO510 IND-24	EO510 IND-230V
Voltages	12 – 24V AC/DC	100 – 230V AC
Frequency range	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Power consumption	8 Watt max.	
Protection	IP65	
Operating time	26 sec 90°	
Rotation angle	360° set to 90° 2 intermediate positions possible	
Duty duration	60% / max. 20 min	
Electrical connection	cable gland	
Nominal torque	7 Nm	
Peak torque	9 Nm	
Temperature	0°C bis + 50°C	
Body material	ABS	
Position indicator	optically (manual override handle)	
Manual override	integrated	

Fuente: prahe. Praher 2-Way Ball Valve S4 PVDF Electric Actuator EO510 - Praher Plastics Austria GmbH [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://www.praher-plastics.com/product/praher-2-way-ball-valve-s4-pvdf-electric-actuator-eo510/>.

Este proceso tambien va acompañado de una termocupla vista en la **Figura 23** y sus caracteriticas en la **Tabla 16** la cual puede trabaja en unos rangos desde -50 a 400°C suficiente para su uso en un el lazo de control que configurará la señal que se le va a entregar a la valvula para manipular su apertura.

Figura 23. Termocupla



Fuente: pce-iberica. Sonda De Temperatura Pt100 WTR 110 [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sonda-temperatura-wtr-110.htm>

Tabla 16. Especificaciones termocupla

Especificaciones técnicas	
Carcasa	Conexión: acero inoxidable o aluminio Armadura protectora: acero inoxidable, Ø 9 mm
Tipo de Pt100	3 hilos
Rango de medición	-50 ... +400 °C
Clase de precisión	Clase A
Longitud en mm	50, 100, 160, 200, 250, 300
Contenido del envío	
1 x sonda de temperatura Pt100 WTR 110, instrucciones de uso	
Componentes adicionales	

Fuente: pce-iberica. Sonda De Temperatura Pt100 WTR 110 [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sonda-temperatura-wtr-110.htm>.

Para el correcto funcionamiento de la pt 100 se recomienda el uso de un transductor, como se ve en la **Figura 24**, que convierte la señal de resistencia en una señal de corriente, con sus especificaciones vistas en **Tabla 17**.

Figura 24. Transductor para pt 100



Fuente: pce-iberica. Sonda De Temperatura Pt100 WTR 110 [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/transductor-kmu-100.htm>

Tabla 17. Especificaciones transductor pt100

Especificaciones técnicas	
Carcasa	Plástico PC Diámetro: 44 mm x altura: 22,5 mm Orificio central de 7 mm Sujeción 2 tornillos M4 para carcasa DIN B
Entrada	Pt100 de 2, 3 o 4 hilos
Salida	4 ... 20 mA Carga máxima 21 mA Carga mínima 3,5 mA
Rango de medición	-200 ... 650 °C
Intervalo	min. 10 K
Precisión	<±0,1 % del valor final
Temperatura operativa	-40 ... 85 °C
Conexión eléctrica	terminal de tornillo 1,5 mm ²
Alimentación	10 ... 35 V DC Tensión residual máx. ±5 %

Fuente: pce-iberica. Sonda De Temperatura Pt100 WTR 110 [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/transductor-kmu-100.htm>.

3.3.1.5 Instrumentación para la etapa 5. Esta etapa está compuesta por dos equipos: el principal, una torre de lavado y el secundario, una bomba encargada de rociar el agua en contra corriente. La torre de lavado requiere un control de nivel por medio de un sensor, como el de la **Figura 25**, con sus características en la **Tabla 18**, además acompañada de una válvula que manipulara el flujo para controlar el nivel, esta válvula se ve en la **Figura 26**, con sus respectivas características en la **Tabla 19**.

Figura 25. Sensor de nivel



Tabla 18. Especificaciones sensor de nivel


Display/Operation	
Function indicator	yes
Power indicator	yes
Electrical connection	
Cable diameter D	4.60 mm
Cable length	2 m
Conductor cross-section	0.34 mm ²
Connection type	Cable, 2.00 m, PUR
Number of conductors	3
Polarity reversal protected	yes
Short-circuit protection	yes
Electrical data	
Hysteresis H max. (% of Sr)	15.0 %
MTTF (40 °C)	226 a
No-load current I ₀ max., undamped	13 mA
Operating voltage U _b	10...30 VDC
Protected against miswiring	no
Rated insulation voltage U _i	75 V DC
Rated operating current I _e DC	100 mA
Rated operating voltage U _e DC	24 V
Ready delay t _v max.	300 ms
Repeat accuracy max. (% of Sr)	2.0 %
Switching frequency	100 Hz
Utilization category	DC -13
Voltage drop static max.	1.5 V

Figura 26. Válvula de control



Fuente : SAMSON - Homepage [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://www.samson.de/pdf_en/t58670en.pdf.

Tabla 19. Especificaciones válvula de control

Single-seated Type 3222 N Globe Valve		
Nominal size	DN 15	
Connection	ISO 228/1-G ¾ B	
End connections (optional)	Threaded ends G ½ · Welding ends · Soldering ends	
Nominal pressure	PN 16	
K _{vs} coefficient	Standard	2.5
	Special version	0.25 · 0.4 · 0.63 · 1 · 1.6
Valve travel	6 mm	
Characteristic	Equal percentage	
Pressure balancing	None	
Max. permissible differential pressure Δp	6 bar	
Type of sealing	K _{vs} ≤ 1	Metal seal
	K _{vs} = 1.6 and 2.5	Soft seal
Leakage class according to IEC 60534-4	Class I (≤0.05 % of K _{vs} coefficient)	
Compliance		
Max. permissible temperature	120 °C	
Max. permissible medium temperature	Treated water	120 °C
	Non-flammable gases	80 °C
z value	0.43	

Fuente : SAMSON - Homepage [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://www.samson.de/pdf_en/t58670en.pdf.

Para el control de la caída de presión dentro de la torre se instala un manómetro diferencial, como el de la **Figura 17**, el cual se encargara de vigilar que la presión dentro de la torre no caiga tanto por el efecto de contra flujo del agua o por el material de empaque que lleva para aumentar la remoción de sulfuros, siendo así necesario si baja mucho esta presión, aumentar la presión con la bomba de la etapa 2.1, o cambiar los empaques de la torre, evitando taponamientos.

Utilizando el modelo 3051CD estándar 1, como se ve en la **Tabla 20** que es especial para medir diferencial de presión entre -62.2 a 62.2 mbar, suficiente para detectar anomalías de caída de presión dentro de la torre de lavado.

Tabla 20. Especificaciones sensor presión diferencial.

Rango de presiones				
	3051CD	3051CG	3051CA	
Estándar				Estándar
1	-62,2 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	-62,1 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)	★
2	-623 a 623 mbar (-250 a 250 inH2O)	-62,1 a 623 mbar (-25 a 250 pulg. H2O)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)	★
3	-2,5 a 2,5 bar (-1000 a 1000 pulg. H2O)	-0,98 a 2,5 bar (-393 a 1000 pulg. H2O)	0 a 55,2 bar (0 a 800 psia)	★
4	-20,7 a 20,7 bar (-300 a 300 psi)	-0,98 a 20,7 bar (-14,2 a 300 psi)	0 a 275,8 bar (0 a 4000 psia)	★
5	-137,9 to 137,9 bar (-2000 to 2000 psi)	-0,98 a 137,9 bar (-14,2 a 2000 psi)	No aplicable	★
Salida del transmisor				
Estándar				Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART			★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION			★
W ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA			★
Ampliado				
M	Baja potencia, 1–5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART (consultar la Opción C2 para 0,8–3,2 Vcc)			

Como equipo auxiliar, se ubica una bomba encargada de enviar el flujo de agua a la torre de lavado, la cual cuenta con un lazo de control para el flujo por medio de

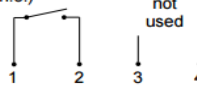
un sensor de flujo como el de la **Figura 27**, que tiene sus especificaciones en la **Tabla 21**.

Figura 27. Medidor de flujo



Fuente: ghmmesstechnik - Homepage [Print(0)].
[Consultado el 8/9/20172017]. Disponible
en: http://www.ghmmesstechnik.de/fileadmin/user_upload/honsberg/pdf_englisch/pi-ho_fki-fw3_e.pdf.

Tabla 21. Especificaciones medidor de flujo

Technical data		
Switch	reed switch	
Nominal width	DN 8	
Process connection	female thread G 1/4 (further process connections available on request)	
Adjustment range	0.4..2.5 l/min	for details see table "Ranges"
Pressure loss	up to 1.9 bar at Q _{max}	
Q _{max}	2.5..6 /min	
Tolerance	±10 % of the full scale value, minimum 0.3 l/min	
Pressure resistance	PN 100 bar	
Media temperature	-20..+90 °C	
Ambient temperature	-20..+70 °C	
Media	water (oils available on request)	
Wiring	normally open (n.o.) No. 0.378 	
Switching voltage	max. 230 V AC	
Switching current	max. 0.5 A	
Switching capacity	max. 50 VA	
Protection class	2 - safety insulation	
Ingress protection	IP 67	
Electrical connection	for round plug connector M12x1, 4-pole	
Materials medium-contact	Brass construction: CW614N nickelled, POM, 1.4310, hard ferrite	Stainless steel construction: 1.4305, POM, 1.4310, hard ferrite
Non-medium-contact materials	PC, 1.4301, 1.4305	
Weight	0.25 kg	
Installation location	Standard: horizontal inwards flow; other installation positions are possible; the installation position affects the switching point.	

Fuente: ghmmesstechnik - Homepage [Print(0)].
[Consultado el 8/9/20172017]. Disponible
en: http://www.ghmmesstechnik.de/fileadmin/user_upload/honsberg/pdf_englisch/pi-ho_fki-fw3_e.pdf.

Con una válvula que manipula el flujo, como la vista en la **Figura 26**, completa el lazo de control para el flujo de agua en la torre de lavado, que puede variar dependiendo de la cantidad de biogás que ingresa, manteniendo una relación entre la entrada de agua y biogás para mejorar el rendimiento de la torre obteniendo un biogás con más contenido de metano.

Para conocer la cantidad de sulfuro removido del biogás, se recomienda el uso de un pH metro como el de la **Figura 28**, marca Hanna instruments modelo HI 8614 que de igual manera funciona como transmisor con señales de corriente que van desde 4 a 20 mA, como se puede ver en **Tabla 22**, donde como se mencionó anteriormente un valor adecuado varía entre 6 y 8.5.

Figura 28. Indicador transmisor de pH.

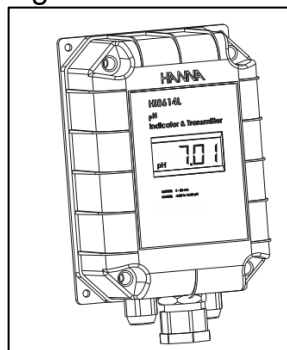


Tabla 22. Especificaciones del pH metro.

SPECIFICATIONS OF HI 8614 & HI 8614L	
Range	4 to 20 mA / 0.00 to 14.00 pH
Resolution	0.01 mA / 0.01 pH
Accuracy (@20°C/68°F)	± 0.02 mA / ± 0.02 pH
Typical EMC Deviation	± 0.25 mA / ± 0.2 pH
Calibration	Offset: ± 2.2 mA / ± 2 pH Slope: ± 0.5 mA / 86 to 116%
Temperature Compensation	Fixed or automatic from 0 to 100°C (32 to 212°F) with HI 76608 probe
Input Impedance	10 ¹² Ohm
Output	4-20 mA (isolated)
Installation Category	II
Protection	IP 65
Environment	0 to 50°C (32 to 122°F); RH max 95% non-condensing
Power Supply	HI 8614: 18 to 30 Vdc HI 8614L: 20 to 36 Vdc
Load	Max 500 Ohm
Dimensions	165 x 110 x 71 mm (6.5 x 4.3 x 2.8")
Weight	1 kg (2.2 lb.)

3.3.1.6 Instrumentación para la etapa 6. Esta etapa comprende de una bomba encargada de suministrar la presión suficiente para que pueda entrar el gas a la torre, teniendo en cuenta la caída de presión, que sufre el gas al bajarle la temperatura en el intercambiador.

El control que se realizara en este punto, consta de la medición de presión a la salida del tanque de pulsaciones y monitoreo a la salida de la bomba, usando el mismo sensor transmisor de la **Figura 17** , pero con la diferencia de que a la salida debe subir por lómenos a 4 bar, por esta razón el sensor de presión indicado es el 3051CA estándar 2, que cubre rangos entre 0 a 10.3 bar, como se observa en **Tabla 23**.

Tabla 23. Especificación sensores presión bomba de impulso torre de lavado.

Rango de presiones			
	3051CD	3051CG	3051CA
Estándar			Estándar
1	-62,2 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	-62,1 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)
2	-623 a 623 mbar (-250 a 250 inH2O)	-62,1 a 623 mbar (-25 a 250 pulg. H2O)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)
3	-2,5 a 2,5 bar (-1000 a 1000 pulg. H2O)	-0,98 a 2,5 bar (-393 a 1000 pulg. H2O)	0 a 55,2 bar (0 a 800 psia)
4	-20,7 a 20,7 bar (-300 a 300 psi)	-0,98 a 20,7 bar (-14,2 a 300 psi)	0 a 275,8 bar (0 a 4000 psia)
5	-137,9 to 137,9 bar (-2000 to 2000 psi)	-0,98 a 137,9 bar (-14,2 a 2000 psi)	No aplicable
Salida del transmisor			
Estándar			Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART		★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION		★
W ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA		★
Ampliado			
M	Baja potencia, 1-5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART (consultar la Opción C2 para 0,8-3,2 Vcc)		

Los rangos de presión para el sensor que va a la salida del tanque de pulsaciones, sirven adecuadamente con el modelo 3051CA estándar 1, que cubre rangos de 0 a 2.1 bar de presión, que es la presión suficiente para retener y almacenar el biogás en el tanque de pulsaciones para luego elevarse con esta bomba, buscando que, si no encuentra ninguna presión de entrada a la bomba, esta se apague automáticamente.

3.3.1.7 Instrumentación para la etapa 7. La última etapa encontramos un desnebulizador, con un manómetro para monitorear la presión del gas después de realizar toda la limpieza, manómetro visto en la **Figura 17**, con un rango adecuado de 0 a 10.3 bar, buscando disminuir un poco por los efectos de la torre de lavado y el desnebulizador.

Tabla 24. Especificaciones rango de presión salida desnebulizador.

Rango de presiones				
	3051CD	3051CG	3051CA	
Estándar				Estándar
1	-62,2 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H ₂ O)	-62,1 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H ₂ O)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)	★
2	-623 a 623 mbar (-250 a 250 inH ₂ O)	-62,1 a 623 mbar (-25 a 250 pulg. H ₂ O)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)	★
3	-2,5 a 2,5 bar (-1000 a 1000 pulg. H ₂ O)	-0,98 a 2,5 bar (-393 a 1000 pulg. H ₂ O)	0 a 55,2 bar (0 a 800 psia)	★
4	-20,7 a 20,7 bar (-300 a 300 psi)	-0,98 a 20,7 bar (-14,2 a 300 psi)	0 a 275,8 bar (0 a 4000 psia)	★
5	-137,9 to 137,9 bar (-2000 to 2000 psi)	-0,98 a 137,9 bar (-14,2 a 2000 psi)	No aplicable	★
Salida del transmisor				
Estándar				Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART			★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION			★
W ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA			★
Ampliado				
M	Baja potencia, 1–5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART (consultar la Opción C2 para 0,8–3,2 Vcc)			

Otra variable por medir para el correcto funcionamiento de este tanque de condensados o desnebulizador es el nivel, que también se puede usar el de la **Figura 21**, tipo flotador magnético, con las mismas especificaciones por ser un tanque de dimensiones no muy grandes.

3.3.2 Instrumentación para el proceso de limpieza del gas de síntesis. En la **Tabla 25** se observa de forma general la lista de cada punto de interés de los lazos de control determinados para el proceso de limpieza del gas de síntesis.

Tabla 25. Lazos de control gas de síntesis

Núm. id	Descripción
101	Punto de prueba
201	Válvula de presión
207	Indicador de presión
301	Indicador de flujo
305	Válvula de flujo
403	Indicador presión
501	Transmisor de temperatura
601	Indicador de presión
602	Indicador de presión
701	Transmisor de temperatura
803	Indicador de presión

Tabla 25. (Continuación)

Núm. id	Descripción
901	Válvula de flujo
1003	Indicador de presión
1101	Válvula de flujo
1203	Transmisor de temperatura
1301	Peso
1401	Peso
1501	Peso
1601	Peso
1701	Punto de prueba
1801	Peso
1802	Mirilla nivel

Tabla 26. Equipos relacionados con variables

Etapas	Equipo relacionado	Ítem	Descripción	Variable	Rangos de medición
1	Gasificador	101	Punto de prueba	Concentración de gas	0-100%
		206	Transmisión presión	Controlar presión gas	0-50 bar
2	Intercambiado2r	302	Termocupla	Manipulación temperatura gas	0-1000°C
		306	Válvula de bola	Manipulación apertura válvula	0-100%
		1901	Válvula de bola	Manipulación apertura válvula	0-100%
	Bomba	400	Bomba aumento presión	Control encendido	On-off

Tabla 26. (Continuación)

Etapas	Equipo relacionado	Ítem	Descripción	Variable	Rangos de medición
3	Ciclón	601	Indicador de presión	Control presión gas	0-50 bar
		602			
		1301	Válvula de bola	Manipulación apertura válvula	0-100%
4	Intercambiadores de calor	703	termocupla	Control temperatura gas	0-400°C
		1203			
		706	Válvula de bola	Manipulación flujo agua	0-100°C
		1206			
		1501	Válvula bola	Manipulación apertura válvula	0-100%
		1401			
	Bomba	1000	Bomba aumento presión	Control encendido	On-off
5	Filtro de mangas	602	Indicador de presión	Control presión gas	0-50 bar

La **Tabla 26** permite determinar las variables que influyen en cada equipo durante el proceso, y que deben tenerse en cuenta para la selección de instrumentación, Debe saberse además si la variable es controlada o manipulada.

A continuación, se explican los instrumentos y equipos requeridos dentro del sistema de gas de síntesis.

3.3.2.1 Instrumentación para la etapa 1. En la primera etapa se encuentra el gasificador, que produce gas de síntesis a una presión de 33 bares, una temperatura aproximada de 800°C y un flujo de gas de 3m³/h, debido a las condiciones de operación se ubicará un punto de prueba para para el gas, manipulado por una válvula de bola vista en la **Figura 29**, con sus características en la **Tabla 27** y un tubo pitot.

Figura 29. Válvula de bola



Fuente: Viega Group. Homepage Viega Group | Viega.Com [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: https://www.viega.com/en_COM/html/Mounting/Pipingtechnology/Gasfittings/49e03ea46524c942ac114094408aac27_5_en_COM/pdf/ga_gas-ball-valve_5_en_-.pdf

Tabla 27. Especificaciones válvula de bola

Gas ball valve
• brass
• Rp-thread
• lockable, sealable, heavy duty and straight version
Technical data
ambient temp. max. 70 °C
HTR (high thermal resistance) 650 °C/30 min. GT1
operating pressure max. 0.5 MPa (MOP 5)
with DIN-DVGW-G-test mark

Fuente: Viega Group. Homepage Viega Group | Viega.Com [Print(0)]. [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: https://www.viega.com/en_COM/html/Mounting/Pipingtechnology/Gasfittings/49e03ea46524c942ac114094408aac27_5_en_COM/pdf/ga_gas-ball-valve_5_en_-.pdf

Puesto a que la temperatura del gas dificulta tener un instrumento para la medida de presión, se ubicara un punto de prueba para el gas y un tubo pitot acompañado de un transmisor de presión que genere la alarma sobre alta o baja presión con el transmisor de la **Figura 30**, y con sus especificaciones en la **Tabla 28**⁶¹.

⁶¹ SUÁREZ PORRAS,Daniel Valencia y BAUTISTA,David Felipe. Diseño a escala laboratorio del sistema de acondicionamiento del gas de síntesis para un motor de combustión interna. [Print(0)]. [Consultado el 5/12/20172017]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6048>

Figura 30. Transmisor e indicador de presión



Fuente: media.testo [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://media.testo.com/media/65/d2/1a7a6d0b2a83/testo-105-DS-es-ES-2015-web.pdf>.

Tabla 28. Especificaciones del instrumento de presión

Meas. range					
Humidity / trace humidity	0 to 100 %RH			-60 to +30 °C td	0 to 100 %RH
Temperature	-20 to +70 °C -4 to +158 °F	-30 to +150 °C -22 to +302 °F	-40 to +180 °C -40 to +356 °F	-40 to +120 °C -40 to +248 °F	-40 to +180 °C -40 to +356 °F
Measurement uncertainty*					
Humidity	testo 6611	testo 6612	testo 6613	testo 6614	testo 6615
	±(1.0 + 0.007 * mv) %RH for 0 to 100 %RH / ±(1.4 + 0.007 * mv) %RH for 90 to 100 %RH		±(1.0+ 0.007 * mv) %RH for 0 to 100 %RH		±(1.2 + 0.007 * mv) %RH for 0 to 90 %RH / ±(1.5 + 0.007 * mv) %RH for 90 to 100 %RH
	for deviations from media temp. ±25 °C: ±0.02 %RH/K				
Dewpoint				±1 K at 0 °C td ±2 K at -40 °C td ±4 K at -50 °C td	
Temp. at +25°C / +77°F	±0.15 °C/ 32.2 °F Pt1000 Class AA			±0.15 °C/ 32.2 °F Pt100 Class AA	±0.15 °C/ 32.2 °F Pt1000 Class AA

Inputs/outputs

Analog outputs

Quantity	Standard: 1; with optional humidity probe: 3
Output type	0/4 to 20 mA (4-wire) (24 VAC/DC) 0 to 1/5/10 V (4-wire) (24 VAC/DC)
Scaling	Differential pressure: scalable ±50% of measuring range final value;

Fuente: media.testo [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://media.testo.com/media/65/d2/1a7a6d0b2a83/testo-105-DS-es-ES-2015-web.pdf>.

3.3.2.2 Instrumentación para la etapa 2. En esta etapa debe aclararse cada una de las variables de manipulación y control involucradas, así como el tipo adecuado de instrumento ya que se encuentran dos equipos.

El intercambiador de calor requiere un medidor de flujo para manipular la apertura de la válvula y controlar el flujo del agua, como se ve en la **Figura 31**, con sus especificaciones en la **Tabla 29**, Al ser el fluido de servicio, el agua requiere un control para asegurar que la temperatura de salida del intercambiador sea la indicada para el sistema.

Figura 31. Válvula control de flujo



Fuente: jjautomation [Consultado el 8/9/20172017].
 Disponible en: http://jjautomation.com/index.php?route=product/product/download&download_id=9.

Tabla 29. Ficha técnica válvula control de flujo

Specifications:	
Actuator housing	UV Protected Polyamide
Supply voltage range	25-240V AC or DC
IP Rating	IP67
Actuator temp limits	-20 to +70°C
Assembly temp limits	E1104ES +70°C Direct mounted
	E1114ES +120°C Mounted via kit
	E1124ES +100C Mounted via ext'n
Valve body	Nickel plated brass
Valve ball	Chrome plated brass
Valve seats	PTFE
Valve Pressure rating	UTI 1" 40 bar at ambient temp
	To 21/2" 30 bar at ambient temp
	3" 25 bar at ambient temp
Valve temp limits	-20 to +120°C
Size range	1/4" to 3"

Fuente: jjautomation [Consultado el 8/9/20172017].
 Disponible en: http://jjautomation.com/index.php?route=product/product/download&download_id=9.

Este proceso tambien va acompañado de una termocupla, como se ve en la **Figura 32**, con sus especificaciones en la **Tabla 30**, la cual trabaja hasta un valor de 650°C y esta va conectada para la adquisicion de datos y la configuracion de la señal que se le va a entregar a la valvula para manipular su apertura

Figura 32. Termocupla



Fuente: pdb2.turck [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://pdb2.turck.de/repo/media/_es/Anlagen/d101933.pdf.

Tabla 30. Especificaciones termocupla

- Accuracy ± 0.2 K
- Protection class IP67
- Stainless steel 1.4404 (AISI 316L)
- Analog current output 4...20 mA (2-wire)
- Adjustment range -210...+650 °C

Fuente: pdb2.turck [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://pdb2.turck.de/repo/media/_es/Anlagen/d101933.pdf.

3.3.2.3 Instrumentación para la etapa 3. En esta etapa se estableció un ciclón para limpiar las partículas pesadas del gas de síntesis, Este ciclón requiere un indicador de presión, como se ve en la **Figura 33**, , con sus especificaciones en la **Tabla 31**

Figura 33. Manómetro Indicador de presión



Fuente: dynisco [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://www.dynisco.com/stuff/contentmgr/files/1/6e972e6945450ca4ae5e2e596173a423/pdf/pg4_datasheet.pdf.

Tabla 31. Ficha técnica manómetro

Performance Characteristics	
Combined Error:	+/- 2% FS
Zero Adjustability:	7.5% FS
Maximum Pressure:	1.5 X FS
Needle Sweep:	270°
Thermocouple:	Type J (Standard)
Temperature & Mechanical Characteristics	
Max Diaphragm Temperature:	750°F (400°C)
Maximum Case Temperature:	275°F (135°C)
Case Material:	Stainless Steel with Safety Glass
Mounting Torque:	500 inch/lbs. maximum
Weight:	2-3 lbs. depending on configuration
Standard Wetted Parts:	TiN coated 15-5 PH SST

Fuente: dynisco [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: http://www.dynisco.com/stuff/contentmgr/files/1/6e972e6945450ca4ae5e2e596173a423/pdf/pg4_datasheet.pdf.

Para mantener un control sobre la presión del sistema, además se recomienda una válvula de bola, como se ve en la **Figura 29**, , con sus especificaciones en la **Tabla 27** para retirar las partículas acumuladas que se consigan retirar.

3.3.2.4 Instrumentación para la Etapa 4. Esta etapa está conformada por 3 intercambiadores de calor para el tratamiento de alquitranes. Se recomienda aquí la instrumentación usada en la etapa 2 donde se encuentra el primer intercambiador de todo el sistema.

3.3.2.5 Instrumentación para la Etapa 5. Esta etapa constituye la última parte de la limpieza del syngas. El filtro de mangas está encargado de retirar las últimas partes sólidas que pueden encontrarse en suspensión, para entregar finalmente un gas óptimo al motor. En este proceso se requiere un indicador de presión., como se ve en la **Figura 17**, con sus especificaciones en la **Tabla 33**, con el modelo 3051CA estándar 3, adecuado para medir en rangos de 0 a 55.2 bar.

Tabla 32. Especificaciones rango de presión filtro de manga

Rango de presiones				
	3051CD	3051CG	3051CA	
Estándar				Estándar
1	-62,2 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	-62,1 a 62,2 mbar (-25 a 25 pulg. H2O)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)	★
2	-623 a 623 mbar (-250 a 250 inH2O)	-62,1 a 623 mbar (-25 a 250 pulg. H2O)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)	★
3	-2,5 a 2,5 bar (-1000 a 1000 pulg. H2O)	-0,98 a 2,5 bar (-393 a 1000 pulg. H2O)	0 a 55,2 bar (0 a 800 psia)	★
4	-20,7 a 20,7 bar (-300 a 300 psi)	-0,98 a 20,7 bar (-14,2 a 300 psi)	0 a 275,8 bar (0 a 4000 psia)	★
5	-137,9 to 137,9 bar (-2000 to 2000 psi)	-0,98 a 137,9 bar (-14,2 a 2000 psi)	No aplicable	★
Salida del transmisor				
Estándar				Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART			★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION			★
W ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA			★
Ampliado				
M	Baja potencia, 1–5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART (consultar la Opción C2 para 0,8–3,2 Vcc)			

Adicionalmente se usará una bomba de succión la cual se muestra en la **Figura 34**, con sus especificaciones en la **Tabla 33**, para cada uno de los sistemas de limpieza que permita un mejor control sobre el flujo de gas y así asegurar que el mismo corra a través de todo el sistema.

Figura 34. Bomba de succión



Fuente: generalairproducts [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://www.generalairproducts.com/industrialcoolingandpumps/industrialcommercial-pumps.htm>

Tabla 33. Especificaciones bomba de succión

Specifications	2CDU Series	Applications	
Suction Size:	1 1/4" to 1 1/2"	Water Reclamation and Treatment	QUOTE
Discharge Size:	1"	Reverse Osmosis	QUOTE
Range of HP:	3/4 to 5 HP	Plant Services	QUOTE
Capacity:	up to 65 GPM	Liquid Transfer	QUOTE
Head:	up to 245 feet	Water Supply Systems	QUOTE
Liquid:	Clean Water	Ultrapure Water Systems Air Conditioning Systems	QUOTE

Fuente: generalairproducts [Consultado el 8/9/20172017]. Disponible en: <https://www.generalairproducts.com/industrialcoolingandpumps/industrialcommercial-pumps.htm>

3.4 DELIMITACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

El sistema de acondicionamiento de biogás y gas de síntesis posee varios equipos donde cada uno cumple una función en el proceso. Los sistemas que se representan en la **Figura 35** y **Figura 36**, son exactamente los equipos establecidos.

Figura 35. Interfaz sistema biogás

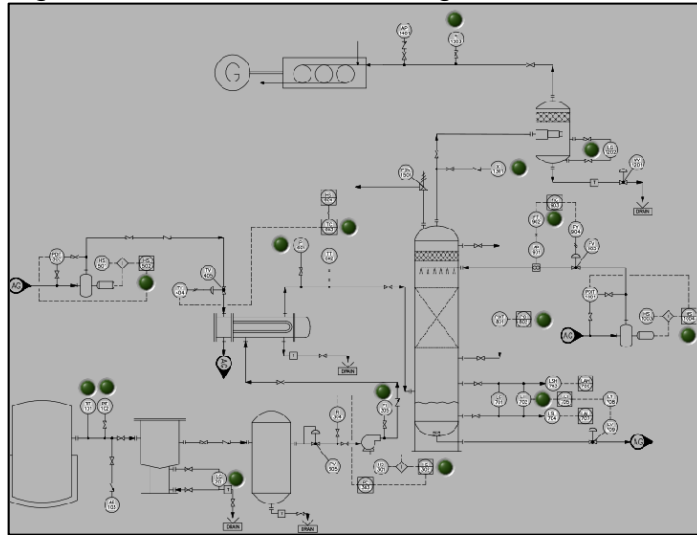
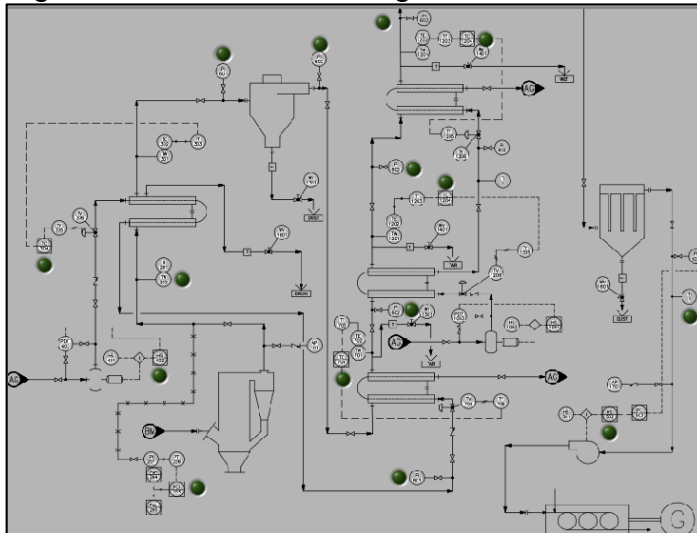


Figura 36. Interfaz sistema gas de síntesis



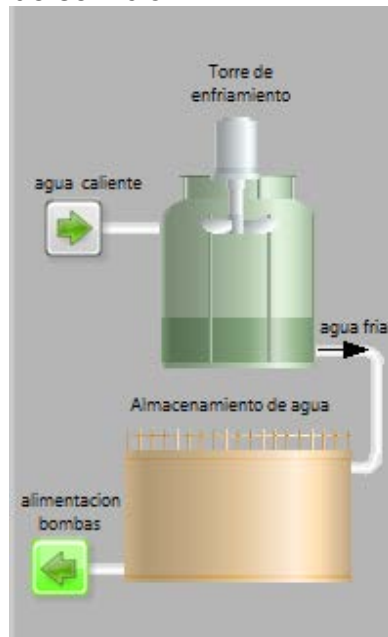
La idea de la interfaz desarrollada nace de la facilidad de comprensión que da la representación gráfica de un proceso, mediante la ubicación de los equipos en el orden en el que irían en el sitio del montaje.

El botón de ingreso enviará al usuario a los datos, monitoreo y control del equipo correspondiente. Con el fin de detectar condiciones relacionadas con algún cambio drástico con la variable medida, para tomar acciones correctivas dependiendo del problema en el equipo.

Otro aspecto de esta interfaz es su propuesta como alternativa al tratamiento del fluido de servicio, en este caso cómo se quiere facilitar para dos procesos distintos, se optó por agua, en donde una torre de enfriamiento y un tanque de

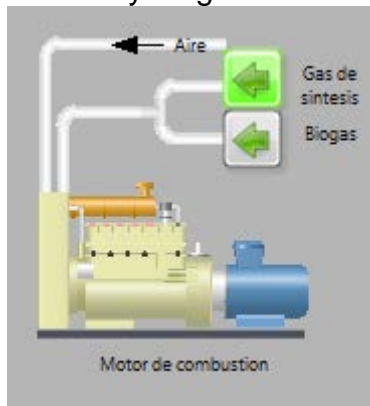
almacenamiento pueden solucionar este problema para que el ciclo sea cerrado, aunque se recomienda atención en los equipos en donde el agua tiene contacto directo con los gases una debida limpieza antes de mezclarla con el agua, esto cómo intención de recomendación aunque no se abordan dichos temas para este proyecto. Ver **Figura 37**.

Figura 37. Sistema de enfriamiento del agua como fluido de servicio



Se recomienda que el motor de combustión tenga la capacidad adecuada para el flujo de combustible que ingresará, sin embargo, como este proyecto tiene fines de investigación, bastan los flujos relativamente bajos de un motor no muy potente. Ver **Figura 38**.

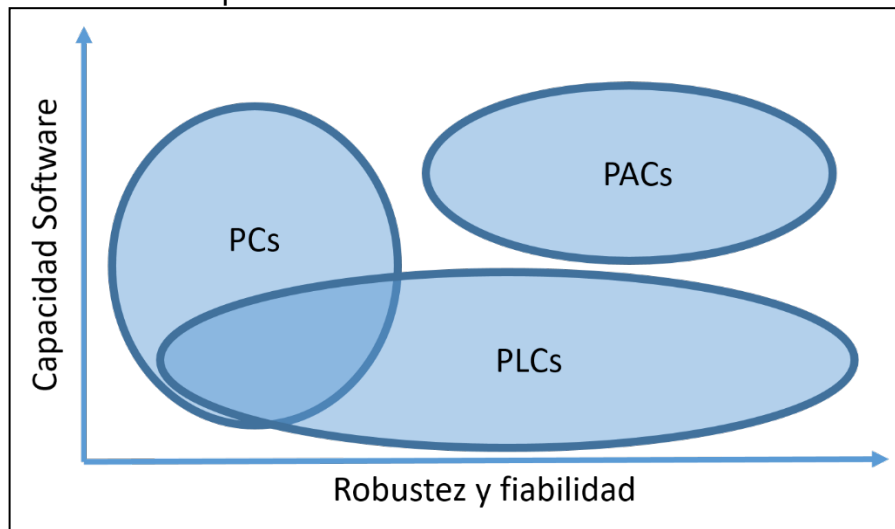
Figura 38. Motor de combustión con entrada de gas de síntesis y biogás



4. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

En este capítulo se describe el software de control adecuado para los procesos anteriormente mencionados. A nivel industrial existen diferentes formas de realizar el control con diferentes equipos. Entre estos equipos están el PLC (controlador lógico programable), o los PAC (Programmable Automation Controller) por sus siglas en inglés, y que son una combinación entre robustez de un PLC y capacidad de procesamiento de un PC. Estos tres se pueden comparar en la **Gráfica 1**.

Gráfica 1. Comparación de sistemas comunes de control



Como una alternativa diferente a los equipos industriales, en el proyecto de investigación se desarrollará el controlador mediante el software de LabVIEW, como instrumento virtual.

El software de control puede ser visto además como una herramienta de instrumentación virtual. Este término fue adoptado por National Instruments pensando en el uso de la computadora como un elemento que pueda medir fenómenos físicos, definiéndolo como “un instrumento que no es real, ejecutado por computadora, y que tiene sus funciones definidas por software”⁶².

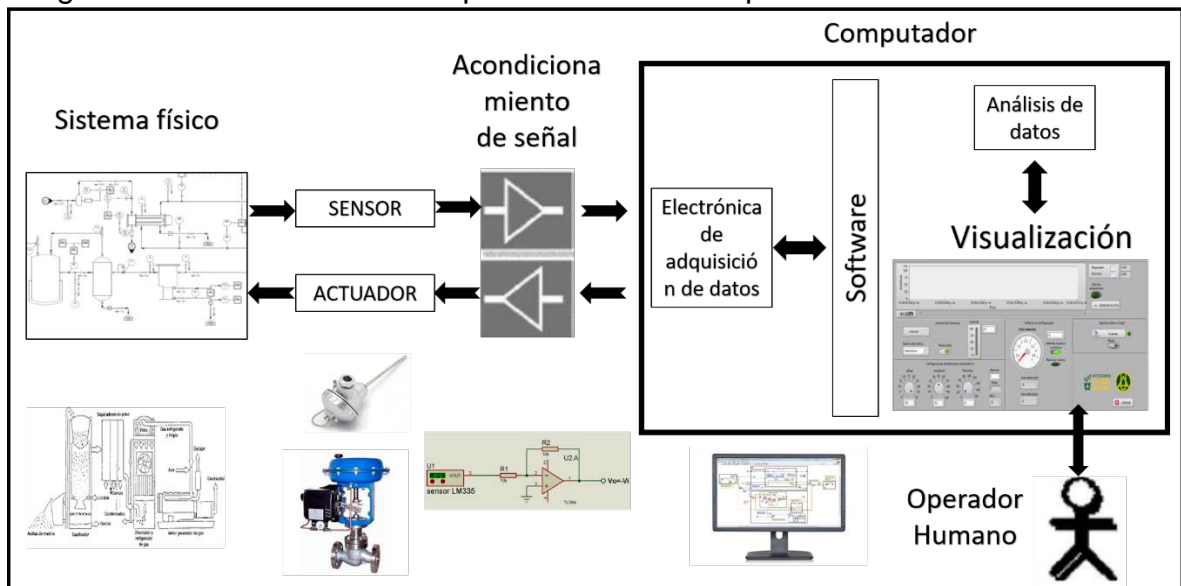
Así, esta es una herramienta que por medio de instrumentación mide señales físicas que son interpretadas en un PC utilizando un lenguaje gráfico de programación, similar a un diagrama de flujo, dividido en dos partes fundamentales como un entorno gráfico, que contiene la interfaz para visualizar gráficamente los instrumentos que pueden reemplazar a los instrumentos reales, y un entorno de diagrama de bloques, que contiene la funcionalidad del instrumento virtual por medio de la programación asignada.

⁶² CHACÓN RUGELES, Rafael. La instrumentación virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica. En: Acción Pedagógica. vol. 11, no. 1, p. 80-88

Las características mencionadas anteriormente permiten al usuario de la instrumentación virtual -a diferencia de un instrumento convencional- la flexibilidad de exploración de múltiples diseños y múltiples funciones que pueden ser modificadas a voluntad cambiando el programa. Dichas características pueden ser aprovechadas tanto en fines académicos como de investigación.

En síntesis, se va a establecer el software indicado para el sistema de instrumentación y control por medio de un ordenador. La **Figura 39** representa claramente la contextualización y pertinencia del software dentro de este proyecto.

Figura 39. Estructura de una aplicación de control por ordenador



4.1 TARJETAS DE ADQUISICIÓN

Para realizar la comunicación entre el software, el proceso y el operario, se utilizan las tarjetas de adquisición como una herramienta de enlace entre los sensores, actuadores y el ordenador.

El uso de tarjetas de adquisición requiere tener en cuenta las variables a medir que van a interpretar y manipular los procesos. Una manera de medir estas variables es tomando cambios de voltaje o, en otros casos, cambios de corriente, de igual o enviando señales de este tipo.

El software implementado en el proyecto contempla el uso de una tarjeta de arduino y una tarjeta de National Instruments.

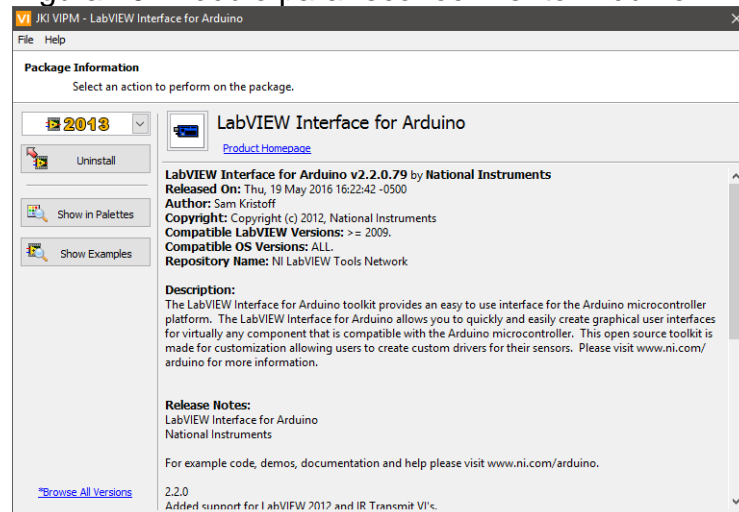
Se selecciona la tarjeta Arduino por tener la capacidad de medir y generar señales en forma de voltaje, y por ser una tarjeta genérica que facilita su uso para diseñar prototipos que comprueban el funcionamiento del software.

La tarjeta de National Instruments se usa por ser más robusta, como se verá más adelante en las características de este equipo, y por tener la capacidad de medir diferentes tipos de señales. Además, por ser propiedad de la universidad, se tiene al alcance para hacer pruebas con ella.

4.1.1 Tarjeta de adquisición Arduino Como se mencionó anteriormente, esta tarjeta es muy versátil por su tamaño, facilidad de obtención en el mercado y por ser de lenguaje libre. A través del programa tipo consola se compilarán las sentencias de código dentro de la memoria de la tarjeta.

Directamente LabVIEW no comparte el mismo lenguaje de programación de las tarjetas Arduino. Sin embargo, existen métodos para poder establecer una comunicación entre los dos. El método usado consiste en usar el VI package manager como se ve en Figura 40.

Figura 40. Módulo para reconocimiento Arduino



El complemento de “LabVIEW interfaz for Arduino” será de utilidad durante la programación de órdenes requeridas para la tarjeta, pero no para el reconocimiento de ésta, porque para que suceda debe estar instalado el programa de arduino y por primera vez se le debe compilar un código llamado LIFA_base, visto en la **Figura 40** que se encuentra con el paquete descargado en el VI package manager, donde los leds de TX y RX de la placa que se ven en la **Figura 42**, parpadean indicando que el código de LIFA_base ya se encuentra en la memoria del arduino. Con estos pasos culminados se puede asegurar que LabVIEW tendrá comunicación con la tarjeta arduino y viceversa, salvo que se presione el botón rojo de reset, que borra todo lo que se ha compilado desde la consola de Arduino, requiriendo que se cargue de nuevo el código.

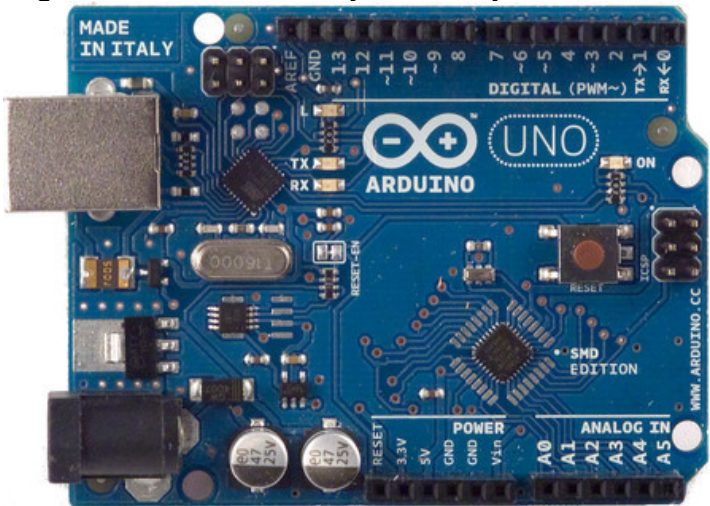
Figura 41. Consola código LIFA_base arduino

```
LIFA_Base - LabVIEWInterface.ino | Arduino 1.6.9
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda
Subir
LIFA_Base AfMotor.cpp AfMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h IRremote.cpp IRremote.h IR_nob...
...
**
** LVIFA_Firmware - Provides Functions For Interfacing With The Arduino Uno
**
** Written By:   Sam Weisoff - National Instruments
** Written On:   November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Weisoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
**
//Includes for IR Remote
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>

//Includes for IR Remote
#ifdef IRremoteInt_h
#include "IRremoteInt.h"
#endif
#ifdef IRremote_h
#include "IRremote.h"
#endif
...

```

Figura 42. Arduino Uno y leds TX y RX



La placa Arduino que se muestra en la **Figura 42** mide esencialmente diferencias de voltaje y tiene la capacidad de generar salidas de voltaje por medio de PWM (modulación por ancho de pulso). Existen diferentes modelos de arduino que difieren en tamaño y procesador el modelo utilizado; para este caso es el arduino uno. La **Tabla 34** muestra las especificaciones generales útiles para determinar si la placa es idónea para conectar determinados transmisores y actuadores.

Tabla 34. Datos técnicos Arduino uno

Descripción	Valor
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Entrada de voltaje (recomendado)	7-12V
Entrada de voltaje (Limites)	6-20V

Tabla 34. (Continuación).

Descripción	Valor
Pines digitales I/O	14 (of which 6 provide PWM output)
Pines de entrada analógica	6 con 10 bits de resolución
DC corriente por Pin I/O	40 mA
DC corriente por 3.3V Pin	50 mA
Velocidad de reloj	16 MHz
Velocidad máxima de muestreo	8.928 kHz aprox

4.1.2 Tarjetas NI 9201 ai y 9263 ao. Aparte del software LabVIEW, National Instruments posee una línea de tarjetas de adquisición, proporcionando así un paquete completo pensado en la instrumentación virtual. Siendo tarjetas más robustas tienen una capacidad de procesamiento alta y pueden medir de forma directa voltaje, corriente e impedancia. Se dispone de dos modelos particulares: el NI 9201, especial para señales de entrada que tiene especificaciones según **Tabla 35** y el modelo NI 9263, para señales de salida con especificaciones según **Tabla 36**.

Tabla 35. Datos técnicos NI 9201

NI 9201 ai	
Entrada de voltaje (recomendado)	±10 V
Entrada de voltaje (Límites)	±60 VDC max
Max resistencia	1 M ohm
Max capacitancia	5 pF
Número de canales	8 con 12 bits de resolución
Velocidad máxima de muestreo	500 kHz aprox

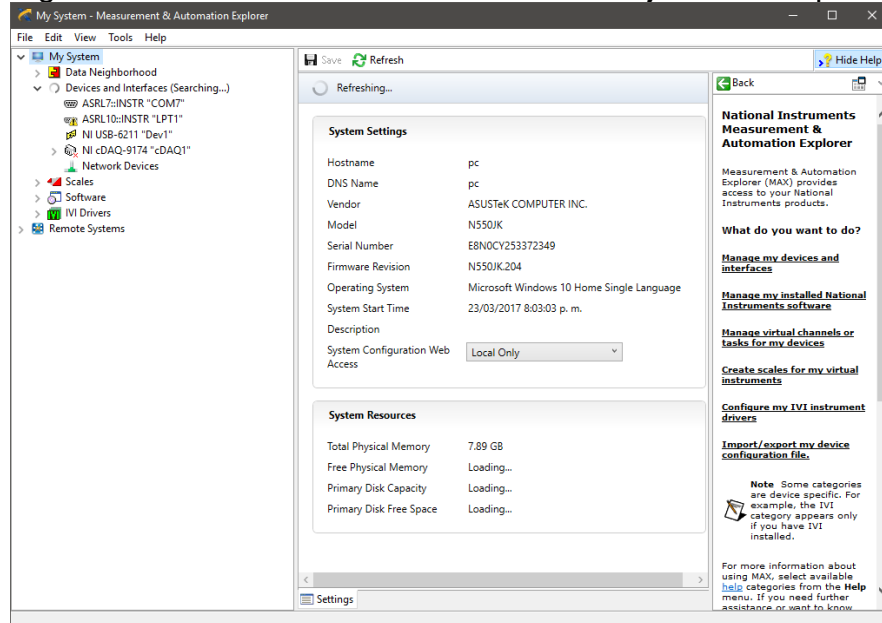
Tabla 36. Datos técnicos NI 9263

NI 9263 ao	
Salida de voltaje (recomendado)	±10.7 V
salida de voltaje (Límites)	±11 VDC max
Corriente salida	±1 mA
Resistencia	0,1 ohm
Protección voltaje	±30 V
Número de canales	4 con 16 bits de resolución
Velocidad máxima de muestreo	100 kHz aprox

A diferencia de la tarjeta de arduino uno, estas tarjetas contienen un CD driver que instala la tarjeta para su reconocimiento instantáneo y el módulo DAQ-mx para programar funciones. Sin embargo, requiere que se administren los puertos y se

generen tareas específicas para la tarjeta antes de utilizarla. Esto se hace por medio del entorno MAX (Measurement and Automation Explorer) visto en la **Figura 43**.

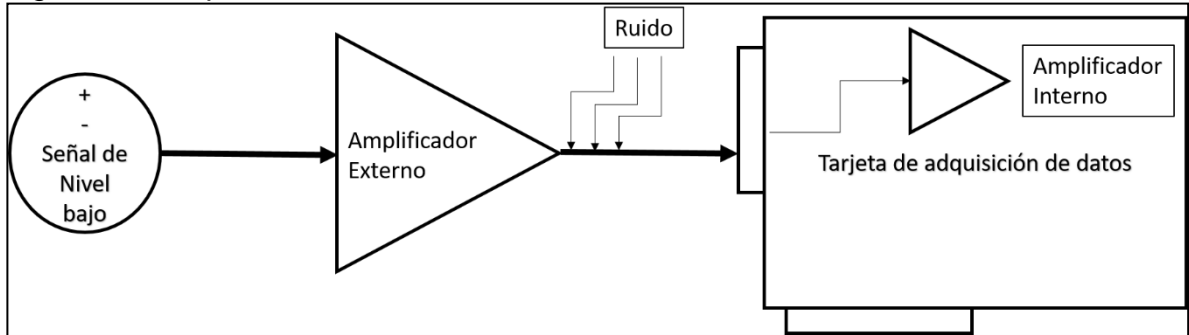
Figura 43. Entorno MAX administrador de tarjetas de adquisición NI



4.1.3 Interfaz para configuración de tarjetas de Adquisición. Después de configurar la comunicación del arduino y de las tarjetas de NI 9201 ai y NI 9263 ao es necesario asignar los puertos en los que se van a conectar los elementos, para el caso se deja configurado el programa para leer y escribir un puerto por equipo conectado, esto quiere decir que las conexiones de los instrumentos y actuadores no serán multiplexadas por el hecho que los instrumentos más comunes son sencillos y pueden funcionar de esta manera.

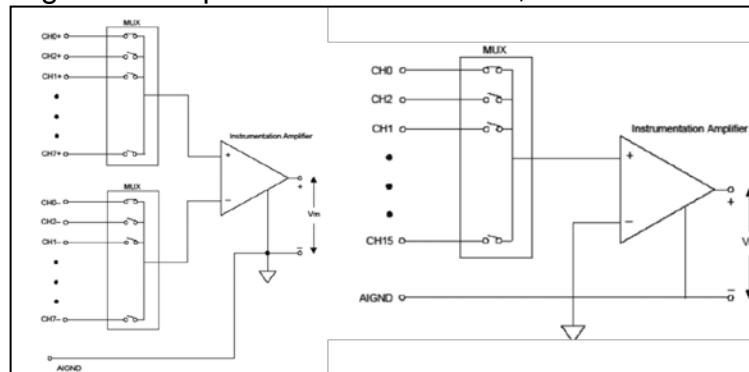
En cuanto al acondicionamiento de la señal, como se ve en la **Figura 44**, el uso más común es la amplificación, que son elementos externos o en ocasiones internos dependiendo de la tarjeta de la resolución de la tarjeta. Por consiguiente, se pueden omitir los amplificadores siempre y cuando la señal no haga demasiado ruido y la señal se amplifique en la tarjeta con el ruido incluido. Para solucionar esto también se utilizan cables apantallados o de par trenzado.

Figura 44. Amplificación de señal



Existen distintas maneras de conectar equipos a las tarjetas, como la forma diferencial, que tiene en cuenta la diferencia de tensión entre una línea y otra, donde el circuito externo y la tarjeta no tienen una referencia común. La otra es diferente en cuanto se tiene una referencia común como se puede ver en la **Figura 45**.

Figura 45. Izq. Conexión diferencial, der. conexión con referencia



Fuente: (Vizcaíno et al. 2011b) ⁶³

El voltaje de entrada en modo común se debe calcular respecto a la tierra, esto con el fin de poder asignar el valor mínimo y máximo si se realiza la conexión de forma diferencial como se ve en la **diferencial Ecuación**. Tener claro este voltaje evitará daños en los equipos si no poseen sistema de protección contra sobre voltajes.

Ecuación 1. Voltaje común conexión modo diferencial

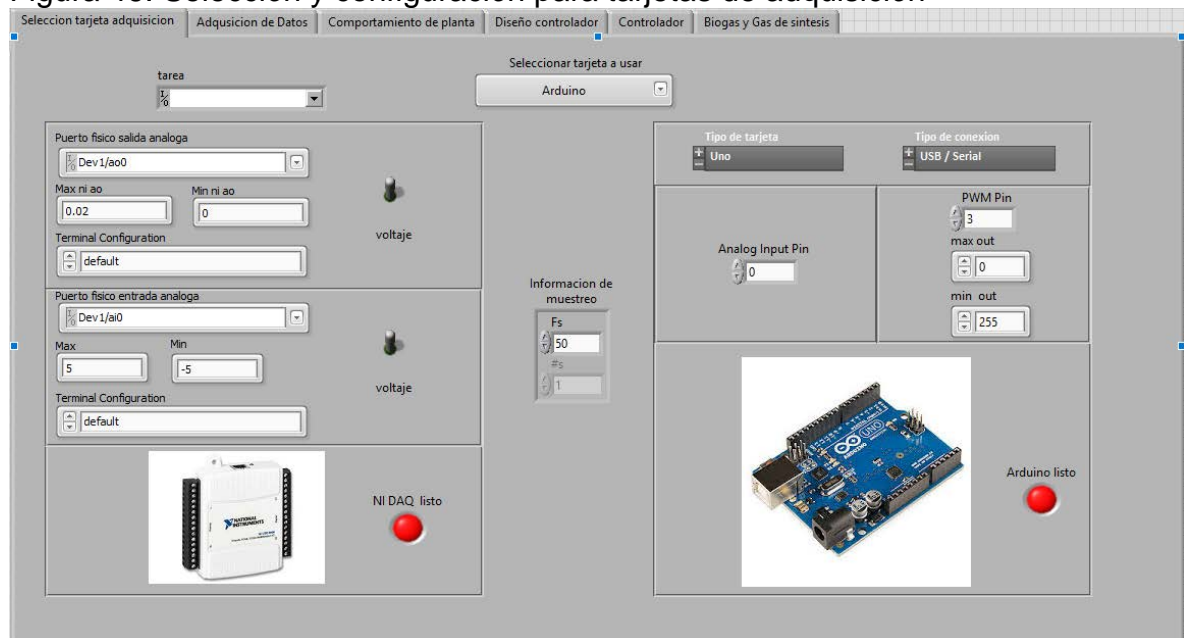
$$V_{com} = \frac{V_+ + V_-}{2}$$

Donde V_+ y V_- son las conexiones del amplificador positiva y negativa respectivamente respecto a la masa del sistema.

⁶³ VIZCAÍNO, José Rafael Lajara y SEBASTIÁ, José Pelegrí. LabView: Entorno Gráfico De Programación. Marcombo, 2011.

Debido a las variaciones que hay para conectar los equipos a las tarjetas, se puede configurar para las tarjetas NI en la interfaz del software realizado, qué tipo de conexión tendrá, además de esto se puede seleccionar entre las dos tarjetas cual se va a usar, qué puertos reconocerá y para las tarjetas NI se puede seleccionar los rangos de voltaje en este caso, pueden ser otras señales dependiendo de los instrumentos la mayoría transmiten señales de tipo corriente o voltaje, y por último se tiene un indicador que señalara si la tarjeta se encuentra lista para su uso cómo se ve en la **Figura 46**.

Figura 46. Selección y configuración para tarjetas de adquisición



La frecuencia de muestreo se recomienda manipularla dependiendo de la capacidad del ordenador, la tarjeta de adquisición, el requerimiento de la señal y hasta por la forma del código que consume memoria. Lo mismo ocurre para el número de muestras recogidas, que se deja en 1 para alivianar la carga de procesamiento, permitiendo modificar estos dos parámetros cuando se optimice el código o se utilicen equipos o instrumentos que requieran cambiarlos.

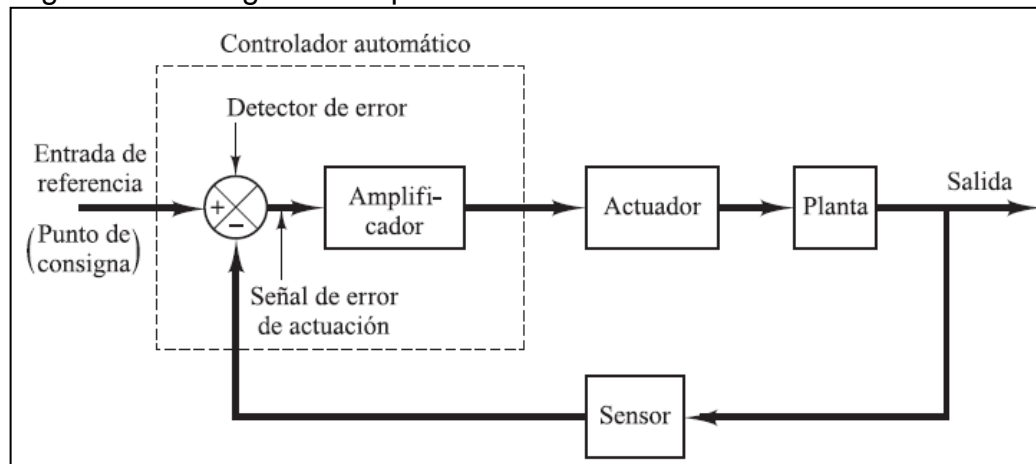
4.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

Para los sistemas de instrumentación virtual es necesario considerar la adquisición de datos. Partiendo de esto, se emplea un programa capaz de recibir y calibrar los datos de entrada, que estarán disponibles para una correcta interpretación.

El uso de sistemas de adquisición servirá como herramienta para comprender el comportamiento dinámico de las variables a controlar, conectando los sistemas en forma de estímulo y respuesta. Siendo el estímulo la variable manipulada y la respuesta la variable controlada.

Antes de incorporar el controlador es necesario normalizar la señal para estudiar el comportamiento dinámico en forma de lazo cerrado como en la **Figura 47**, que principalmente tiene un elemento primario o sensor que retroalimenta el valor de salida en la planta con respecto al punto de consigna o set point.

Figura 47. Configuración típica de lazo cerrado



Fuente:(Ogata 2003) ⁶⁴

Cuando se normalizan las señales se establece una escala de amplitud entre 0 o 1 o de 0 a 100, esto facilita la interpretación del lazo de control y las señales de estímulo y respuesta pueden relacionarse mejor.

Es por esto que el programa es capaz de adquirir datos, leerlos en función del tiempo, registrarlos en hojas de datos, generar estímulos automática y manualmente disponiendo de los datos de la planta para usarlos en el diseño del controlador.

El programa de adquisición de datos se utiliza para los lazos de control donde se requiere controlar las variables y donde se requiera llevar un registro en el monitoreo de la variable involucrada.

Si se va a diseñar un sistema de adquisición de datos, hay que tener claro cómo la información debe llegar y cómo la tarjeta de adquisición va a manipular dichos datos. Por consiguiente, se utilizan elementos digitales que procesan la información digital devolviendo nuevamente la salida en forma análoga o digital dependiendo del elemento que se relacione con la variable controlada (actuador).

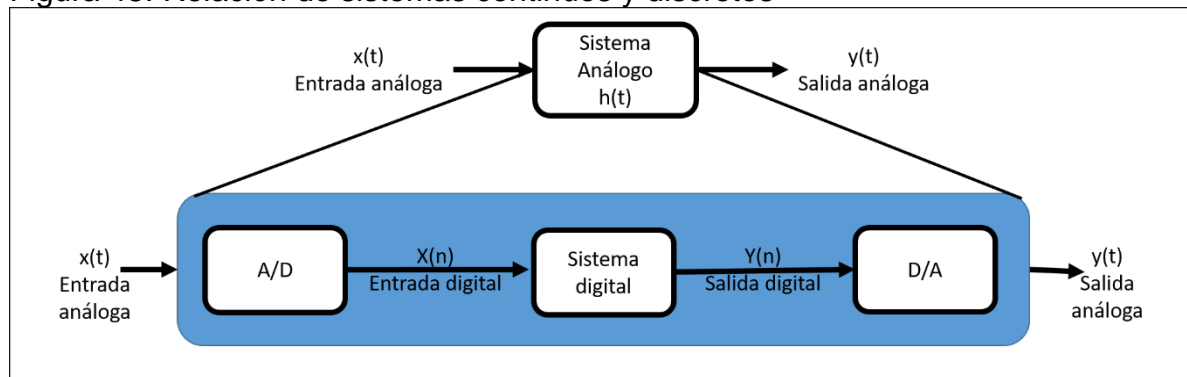
La diferencia entre un sistema análogo y uno digital está fundamentalmente en la manera como registran los datos siendo mejor para los procesadores identificar lenguaje binario, pensado para interpretar y producir valores de manera discreta, donde en un intervalo de valores sólo puede haber una cantidad finita de ellos, a

⁶⁴ OGATA,Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna. Pearson Educación, 2003. p. 21

diferencia de los sistemas continuos que pueden tener una cantidad infinita de datos.

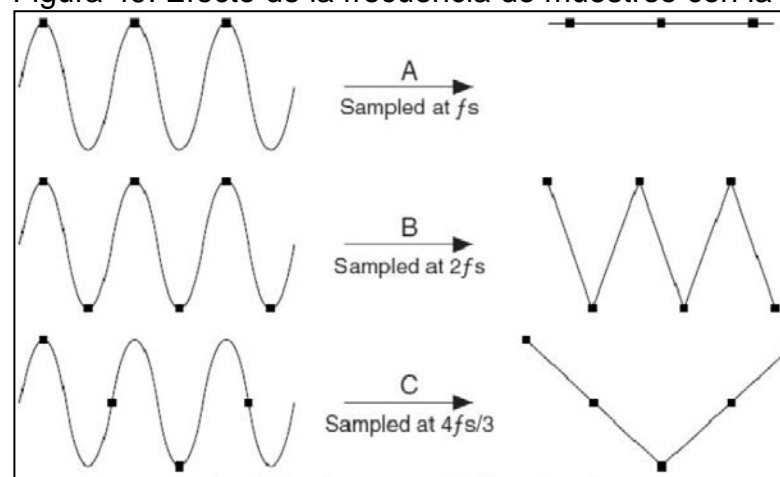
La **Figura 48** muestra cómo los sistemas digitales pueden interpretar un entorno analógico. Si bien la pérdida de información de analógico a digital y viceversa se puede compensar por medio de amplificadores operacionales, tarjetas de adquisición más robustas o por medio de procesadores de mayor capacidad, o aumentando la frecuencia de muestreo⁶⁵.

Figura 48. Relación de sistemas continuos y discretos



Aspectos importantes como la resolución y la frecuencia de muestreo reflejan la diferencia en una medición más precisa. La manera de establecer la frecuencia de muestreo depende de la señal medida, buscando con ella establecer los valores de la señal medida en determinados instantes de tiempo, como se ve en la **Figura 49**.

Figura 49. Efecto de la frecuencia de muestreo con la misma señal



Fuente:(Martínez et al. 2010) ⁶⁶

⁶⁵ VIZCAÍNO, José Rafael Lajara y SEBASTIÁ, José Pelegrí. LabView: Entorno Gráfico De Programación. Marcombo, 2011.

⁶⁶ MARTÍNEZ, José Miguel Molina y BUENDÍA, Manuel Jiménez. Programación Gráfica Para Ingenieros. Marcombo, 2010.

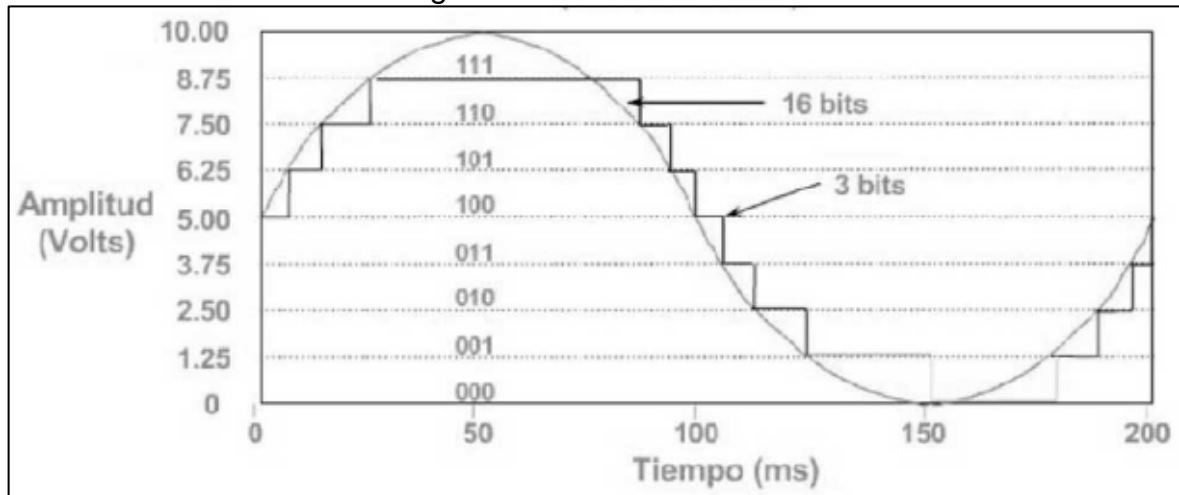
De acuerdo con el teorema de Nyquist, para representar con precisión una señal, se debe muestrear a una frecuencia mayor del doble de la frecuencia de la señal que se está adquiriendo. Esto quiere decir que toda señal con frecuencia debajo de la frecuencia de Nyquist está correctamente muestreada como se ve en **Ecuación 2**.

Ecuación 2. Frecuencia de Nyquist

$$F_{nyquist} = \frac{F_s}{2}$$

Por otro lado, para determinar la resolución que representará el mínimo cambio de valor en la señal detectado por la tarjeta, es preferible utilizar tarjetas con alta capacidad de bits en resolución, como se puede ver en la **Gráfica 2**.

Gráfica 2. Resolución señal digital



Fuente: (Martínez et al. 2010)⁶⁷

La resolución se puede calcular por medio de **Ecuación 3**, siendo n la cantidad de bits. El rango de entrada lo da la diferencia entre el valor mínimo y máximo, por esta razón, para la **Gráfica 2** se observa que en una resolución de 3 bits y 16 bits para la misma señal se reproduce con mejor calidad la de 16 bits.

Ecuación 3. Cálculo de resolución para determinada señal

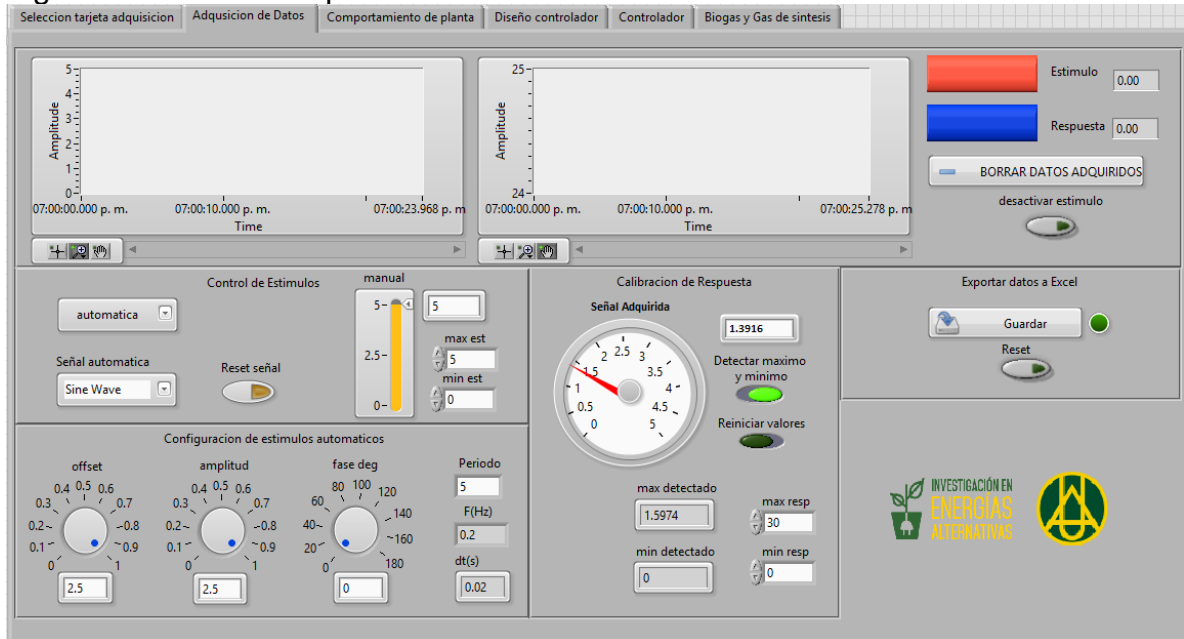
$$\text{resolución} = \frac{\text{rango de entrada}}{(2^n - 1)}$$

⁶⁷ VIZCAÍNO, José Rafael Lajara y SEBASTIÁ, José Pelegrí. LabView: Entorno Gráfico De Programación. Marcombo, 2011.

4.2.1 Desarrollo sistema de adquisición. Se elabora en un software de instrumentación con todos requerimientos y consideraciones nombradas, que hacen del programa de adquisición una herramienta elemental para el proyecto de monitoreo y control.

Después de configurar las tarjetas de adquisición, se cuenta con la adquisición de datos, cuya interfaz se puede apreciar en la **Figura 50**.

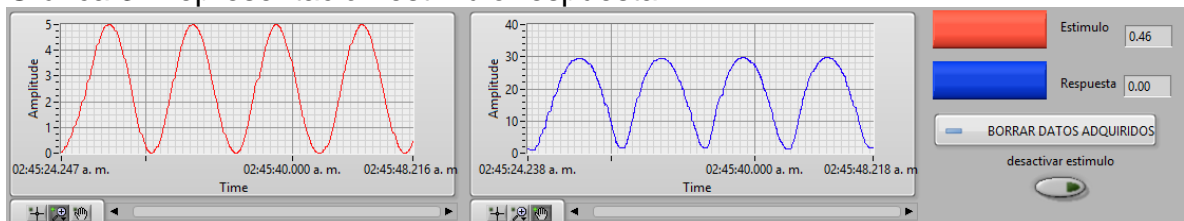
Figura 50. Interfaz Adquisición de datos



Se organizó para tener un fácil manejo e interpretación, considerando su utilización de manera general para cualquier lazo de control.

Describiendo cada elemento que hace parte de la interfaz para adquisición de datos, en la parte superior se insertó una gráfica que permite visualizar los datos de impulso y respuesta en función del tiempo actual, representado con la hora actual en que se muestrean los datos, como se ve en la **Gráfica 3**.

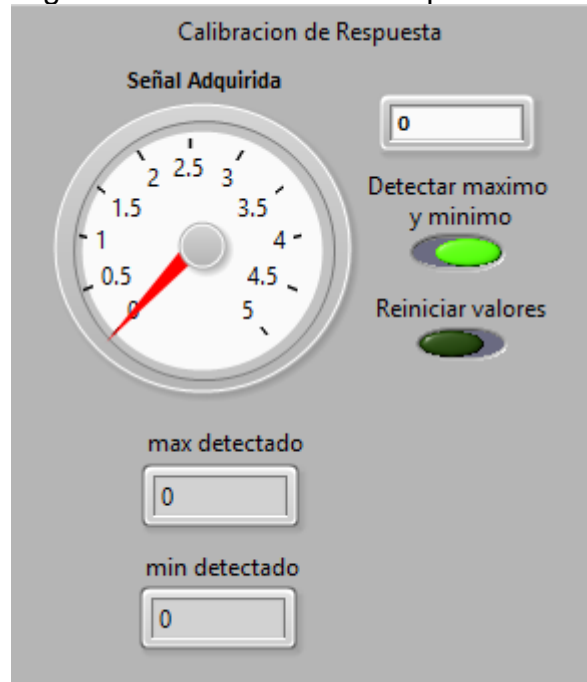
Gráfica 3. Representación estímulo respuesta



El valor de dos señales en estas gráficas facilitará una lectura rápida de la planta sometida a una medición en lazo cerrado, con su debido estímulo para los

actuadores y respuesta para los sensores representados a la vez en el dominio del tiempo, permitiendo calcular los retardos que llegase a tener ya sea por no ser pensado como un proceso con mediciones en tiempo real o porque en la misma dinámica de la planta interfieren retardos del proceso.

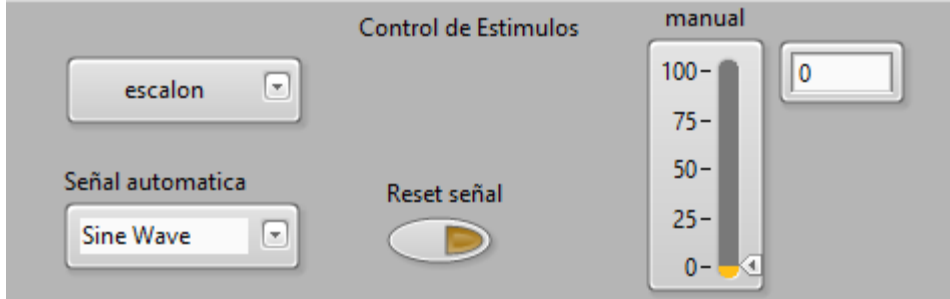
Figura 51. Calibración de respuesta



En esta sección del software se realizó un apartado correspondiente a los valores del sensor y calibración de respuesta como se puede observar en la **Figura 51** que tiene en la parte superior izquierda un indicador tipo dial, donde están los valores entregados por el sensor, permitiendo reconocer si el sensor está reaccionando en la tarjeta o si está recibiendo datos.

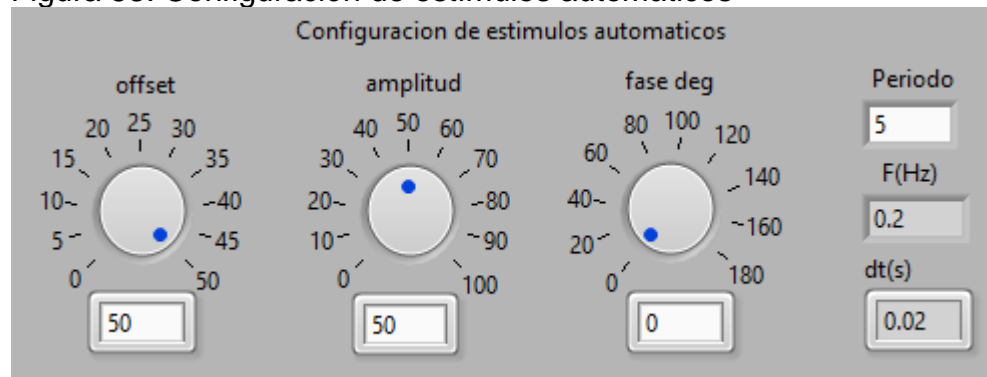
El botón para detectar mínimo y máximo permite calcular los valores que se han censado, el más alto y el más bajo. Seguido a este botón, el otro botón ubicado debajo tiene la función de reiniciar los valores para mostrar una nueva medición del mínimo y el máximo, buscando calibrar los rangos del sensor dependiendo de los datos entregados al medir el fenómeno físico.

Figura 52. Control de estímulos



En la sección de control de estímulos, como se ve en la **Figura 52**, se busca controlar la señal del actuador dentro del rango mínimo y máximo en el que este puede funcionar, escalándolos de 0 a 100, para una mejor interpretación dentro de la gráfica estímulo-respuesta de la **Gráfica 3**. De igual forma hay opción de controlar los estímulos automáticamente con señales periódicas, ya sean de tipo sinusoidales, cuadradas, triangulares o dientes de sierra. Esto ayuda a estimular el sensor con múltiples señales, que pueden reflejar comportamientos característicos del lazo de control y a su vez facilita al actuador funcionar con estímulos cíclicos si el proceso lo requiere.

Figura 53. Configuración de estímulos automáticos



En la **Figura 53** se observa, como complemento, que la señal periódica se puede ajustar con los parámetros mostrados. Estos parámetros son, el offset que indicará el desplazamiento vertical de la señal, su amplitud que indicará el valor desde la mitad en el eje vertical de la señal a sus extremos, y la fase medida en grados que indicará el desplazamiento horizontal de la señal. Seguido a estos diales configurables se tiene un parámetro de periodo y debajo de él se calcula la frecuencia de la señal estímulo y el tiempo transcurrido entre cada muestra (dt), teniendo en cuenta que estos valores dependen de la frecuencia de muestreo que tiene como límite ser menor que la frecuencia de Nyquist, que es la mitad de la frecuencia de muestra, como se mencionó anteriormente.

Ecuación 4. Cálculo de la frecuencia de la señal estímulo

$$F = \frac{1}{T}$$

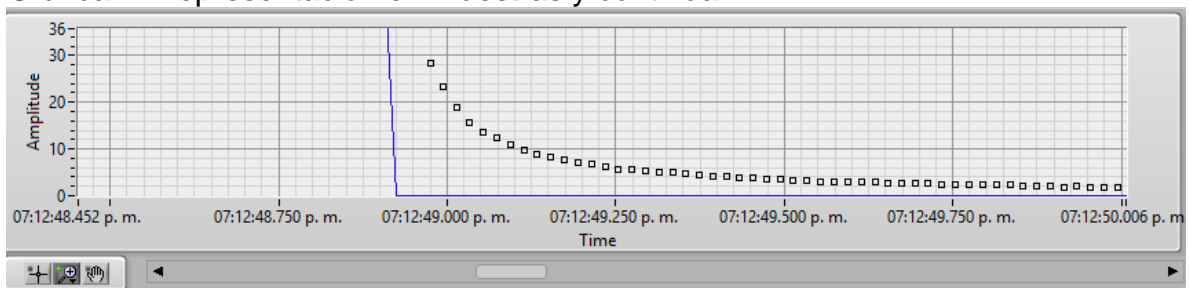
La **Ecuación 4** representa el cálculo de la frecuencia de la señal estímulo, donde T es el periodo de esta señal o dicho en otras palabras el tiempo que tarda la señal en ir y volver a un mismo valor.

Ecuación 5. Cálculo delta de tiempo entre muestras

$$dt = tf - ti$$

La **Ecuación 5** refleja el tiempo que transcurre entre dos valores consecutivos de una muestra final (tf) y una muestra inicial (ti). Esto ocurre porque, a pesar de que en la **Gráfica 3**, se observa una función continua, la realidad es que esta gráfica continua una puntos consecutivos que representan las muestras tomadas de la señal por la tarjeta de adquisición, como se ve en la **Gráfica 4**.

Gráfica 4. Representación en muestras y continua



Es posible utilizar estos datos adquiridos en otros softwares especiales de análisis de datos, por eso, como se ve en la **Figura 54**, esta sección permite enviar los datos a un archivo Excel y poder evaluarlos allí o enviarlos a Matlab que posee una herramienta para el análisis de plantas con el fin de diseñar controladores.

Figura 54. Exportar datos a Excel



Tabla 37. Representación datos adquiridos en Excel

	A	B	C
1	Time	Untitled	Untitled 1
2	05/02/2017 21:32:33.283	99.850746	0
3	05/02/2017 21:32:33.344	99.850746	0
4	05/02/2017 21:32:33.618	99.850746	0
5	05/02/2017 21:32:33.766	99.701493	0
6	05/02/2017 21:32:33.929	10.597015	0
7	05/02/2017 21:32:34.064	5.373134	0
8	05/02/2017 21:32:34.220	4.029851	100
9	05/02/2017 21:32:34.385	4.029851	100
10	05/02/2017 21:32:34.499	4.029851	100
11	05/02/2017 21:32:34.638	4.029851	100
12	05/02/2017 21:32:34.802	85.671642	100
13	05/02/2017 21:32:34.945	99.253731	100
14	05/02/2017 21:32:35.084	99.701493	100
15	05/02/2017 21:32:35.204	99.701493	0
16	05/02/2017 21:32:35.322	99.701493	0
17	05/02/2017 21:32:35.441	99.701493	0
18	05/02/2017 21:32:35.601	99.701493	0
19	05/02/2017 21:32:35.744	99.701493	0
20	05/02/2017 21:32:35.925	10.447761	0
21	05/02/2017 21:32:36.084	4.776119	0
22	05/02/2017 21:32:36.244	3.880597	100
23	05/02/2017 21:32:36.358	3.880597	100

La **Tabla 37** presenta el formato que envía LabVIEW para exportar los archivos en Excel.

4.3 COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA

El comportamiento de los sistemas está ligado a ciertas características que delimitan y establecen la respuesta ante el estímulo de la planta que se está midiendo, entendiéndose planta en términos de control, como el sistema al que le entra una variable manipulada, para poder obtener una variable controlada.

Dentro de las características que distinguen la planta están una serie de fenómenos que se pueden distinguir ya sea si son eléctricos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos, mecánicos, químicos, térmicos, etc. De igual manera están conformados por variables y parámetros, entendiéndose por variable una magnitud cambiante en el tiempo que determina el estado del sistema en dicho momento, y entendiéndose por parámetro las propiedades o características inherentes de los fenómenos⁶⁸.

Una manera sencilla para entender los fenómenos es encontrando su analogía con los otros demás fenómenos. En la **Tabla 38** se representa la analogía entre algunos fenómenos, demostrando tener las mismas fórmulas matemáticas, en donde solamente cambian los nombres y los símbolos de los parámetros que las componen.

⁶⁸ ROCA CUSIDO, Alfredo. Control Automático De Procesos Industriales: Con Prácticas De Simulación y Análisis Por Ordenador PC. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos, 2014. 9788499698748

Tabla 38. Analogía de los fenómenos

	SISTEMA					
	Eléctrico (Voltaje)	Eléctrico (Corriente)	Mecánico (Traslación)	Mecánico (Rotación)	Fluidos	Térmico
Potencial	Tensión	Intensidad	Fuerza	Par (torsión)	Presión	Temperatura
Flujo	Intensidad	Tensión	Velocidad	Velocid. ang.	Caudal	Flujo caloríf.
Carga	Carga eléct.	Flujo magnét.	Desplazamto.	Ángulo	Cantidad	Cant. calor
Resistencia	Resistencia	Conductanc.	Coef.fric.visc.	Coef.fric.visc.	Resistencia	Resistencia
Conductanc.	Conductanc.	Resistencia	Inverso " "	Inverso " "	Inverso "	Conductanc.
Capacidad	Capacidad	Inductancia	Const. elástica	Cte. elást. rot.	Volum., área	Capac. caloríf.
Inertancia	Inductancia	Capacidad	Masa	Mom. inercia	Inercia	(No tiene)

Fuente:(Roca Cusido 2014)⁶⁹

Esta representación matemática, que se puede ver en la **Tabla 39**, demuestra que esos elementos pueden pertenecer a esos parámetros que reflejan un comportamiento en común.

Tabla 39. Representación matemática de parámetros análogos

Parámetro ↓	ELEMENTO				
	Fricc. viscosa	Resorte	Masa	Autoinduc.	Condensador
Resistencia	$v = \frac{1}{B} f$	$x = \frac{1}{K} f$	$a = \frac{1}{M} f$	$i = \frac{1}{L} \Phi$	$v = \frac{1}{C} q$
Conductancia	$f = B v$	$f = K x$	$f = M a$	$\Phi = L i$	$q = C v$
Capacidad	$x = \frac{1}{B} \int f dt$	$f = K \int v dt$	$v = \frac{1}{M} \int f dt$	$i = \frac{1}{L} \int v dt$	$v = \frac{1}{C} \int i dt$
Inertancia	$f = B \frac{dx}{dt}$	$v = \frac{1}{K} \frac{df}{dt}$	$f = M \frac{dv}{dt}$	$v = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{dv}{dt}$
Parámetro: Variables: {	$B = \text{Coef. fricc.}$ $v = \text{Velocidad}$ $f = \text{Fuerza}$ $x = \text{Recorrido}$	$K = \text{Const. elást.}$ $x = \text{Recorrido}$ $f = \text{Fuerza}$ $v = \text{Velocidad}$	$M = \text{Masa}$ $a = \text{Aceleración}$ $f = \text{Fuerza}$ $v = \text{Velocidad}$	$L = \text{Inductancia}$ $i = \text{Intensidad}$ $\Phi = \text{Flujo magn.}$ $v = \text{Tensión}$	$C = \text{Capacidad}$ $v = \text{Tensión}$ $q = \text{Carga}$ $i = \text{Intensidad}$

Fuente:(Roca Cusido 2014)(Vizcaíno et al. 2011b, Roca Cusido 2014)

Todos estos parámetros pueden intervenir y combinarse de alguna forma u otra, pero lo importante es que entendiendo su concepto desde las analogías se puede estimar un comportamiento de planta cercano a la realidad.

Por esta razón es importante aclarar la variedad de equipos que se encuentran a disposición de ser controlados, siendo necesario por cuestiones de simplicidad y escalabilidad del sistema a dimensiones de laboratorio, reducir el número de

⁶⁹ ROCA CUSIDO, Alfredo. Control Automático De Procesos Industriales: Con Prácticas De Simulación y Análisis Por Ordenador PC. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos, 2014. 9788499698748

elementos a controlar. La simplificación de estos controladores se debe hacer considerando los elementos y equipos que aporten relevancia para el sistema de acondicionamiento. Dicha relevancia se considerará de acuerdo a la función del equipo y de su aporte al proceso.

Teniendo en cuenta los sistemas anteriormente mencionados para este proyecto se resaltaron los sistemas de fluidos y térmicos principalmente, por ser los más particulares dentro del sistema de acondicionamiento de gases. Estos sistemas para su control se pueden representar mediante gráficas estímulo y respuesta en función del tiempo donde esta gráfica puede reflejar de igual manera una representación matemática que servirá de guía para implementar un el controlador.

Existen diferentes maneras de abordar el modelado de una planta y controlador, entre ellas, considerar un modelado matemático partiendo de parámetros conocidos, y haciendo uso de ecuaciones diferenciales y transformadas de Laplace. Se puede obtener una función de transferencia que va a representar la relación entre una salida y entrada, representando el comportamiento de una variable de salida frente a una entrada que refleja la alteración o set point de dicho modelo. Ver **Ecuación 6**.

Ecuación 6. Función de transferencia

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[salida]}{\mathcal{L}[entrada]}$$

La función de transferencia es una de las formas más usadas que hay para representar, y facilita el entendimiento y manejo de un modelo dinámico por medio de funciones laplacianas en el dominio s, donde aplicando operadores anti laplacianos se puede obtener la ecuación diferencial que lo representa en el dominio t que representa el tiempo. Ver Ecuación 12.

Ecuación 7. Función de transferencia en el dominio del tiempo

$$\mathcal{L}^{-1}[G(s)] = \frac{y(t)}{x(t)}$$

Se entiende esa función en dominio de tiempo como una ecuación diferencial de orden n dependiendo del comportamiento del sistema, ya sea lineal de primer o segundo orden o no lineal.

LabVIEW posee varias herramientas que facilitan el entendimiento de sistemas dinámicos. Una de estas herramientas es utilizada con el fin de identificar los sistemas en los que generalmente se adquieren de datos.⁷⁰

Para identificar los sistemas, estas funciones facilitan el diseño de controladores, ya

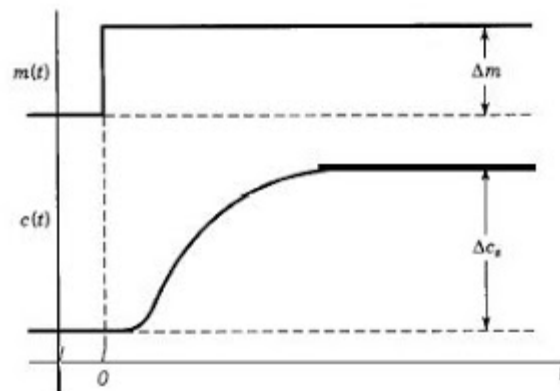
⁷⁰ National Instruments. LabVIEW System Identification Toolkit User Manual - National Instruments [Print(0)]. [Consultado el 2/10/20172017]. Disponible en:

que con la ayuda del procesamiento matemático que este implica, se pueden establecer características específicas para el sistema a medir. Estas características refieren especialmente a temas como linealidad, invariabilidad en el tiempo, o estabilidad, entre otras. En conjunto con la representación gráfica, la representación matemática demuestra ser una herramienta potente para el diseño de controladores. Esto lo demuestran autores como Ogata, Katsuhiko⁷¹ y Bolton, William⁷² que, en los primeros capítulos de sus libros sobre control, hacen especial énfasis sobre aspectos como el entendimiento de los sistemas dinámicos y la forma de representarlos.

Para los sistemas por controlar de temperatura y flujo se selecciona un comportamiento satisfactorio ante una entrada escalón, que refleje datos directos para establecer una relación con la ecuación de transferencia y que determine su ecuación matemática por medio de procedimientos numéricos, aunque teniendo en cuenta el tipo de sistema y los parámetros de estos sistemas, anteriormente mencionados.

Como se observa en la **Gráfica 5**, este es el comportamiento típico ante una entrada escalón de un sistema de primer orden.

Gráfica 5. Respuesta a entrada escalón



En la **Gráfica 5** la relación entre delta c y delta m es la constante de proporcionalidad K según la **Ecuación 9**. La forma en s que tiene al iniciar el aumento en la variable manipulada c(t) representa un retardo del sistema que debe considerarse dentro de la ecuación de transferencia que tiene la forma de la **Ecuación 8**.

⁷¹ OGATA, Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna. Pearson Educación, 2003.

⁷² BOLTON, William y RAMÍREZ, Francisco José Rodríguez. Ingeniería De Control. Alfaomega Mexico, 2001.

Ecuación 8. Ecuación de transferencia de primer orden

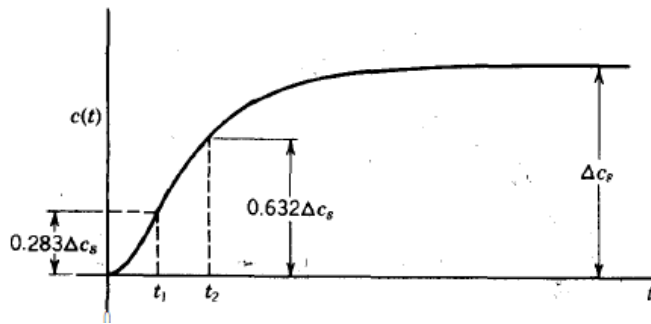
$$G(s) = \frac{ke^{-t_o s}}{\tau s + 1}$$

Ecuación 9. Constante de proporcionalidad

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta m}$$

Para determinar la constante de tiempo τ y el tiempo de retardo t_o , se puede emplear un método gráfico que se recomienda según Smith ⁷³ que consiste en detectar estos valores en la región de alta tasa de cambio que se ubica según la **Gráfica 6**, siendo estos valores dados por la **Ecuación 10** y **Ecuación 11**.

Gráfica 6. Ubicación de la constante de tiempo y el retardo



Ecuación 10. Punto t1

$$t_o + \frac{\tau}{3} = t_1$$

Ecuación 11. Punto t2

$$t_o + \tau = t_2$$

Con la forma anterior de estimar el modelo de transferencia de primer orden, se pueden obtener resultados satisfactorios, aunque no exactos. De igual manera debe tenerse en cuenta que este método se ajusta para las funciones de transferencia de primer orden más tiempo muerto.

Teniendo en cuenta lo anterior se elaboró una interfaz que facilita esta prueba para estudiar el comportamiento de la planta ante una entrada escalón. Se recomienda para esta estimación hacer un cambio de magnitud lo suficientemente grande para que se vea reflejado en la respuesta del sensor, pero con el cuidado de que las no

⁷³ SMITH, Carlos A. y CORRIPIO, Armando B. Principles and Practice of Automatic Process Control. Wiley New York, 1985.

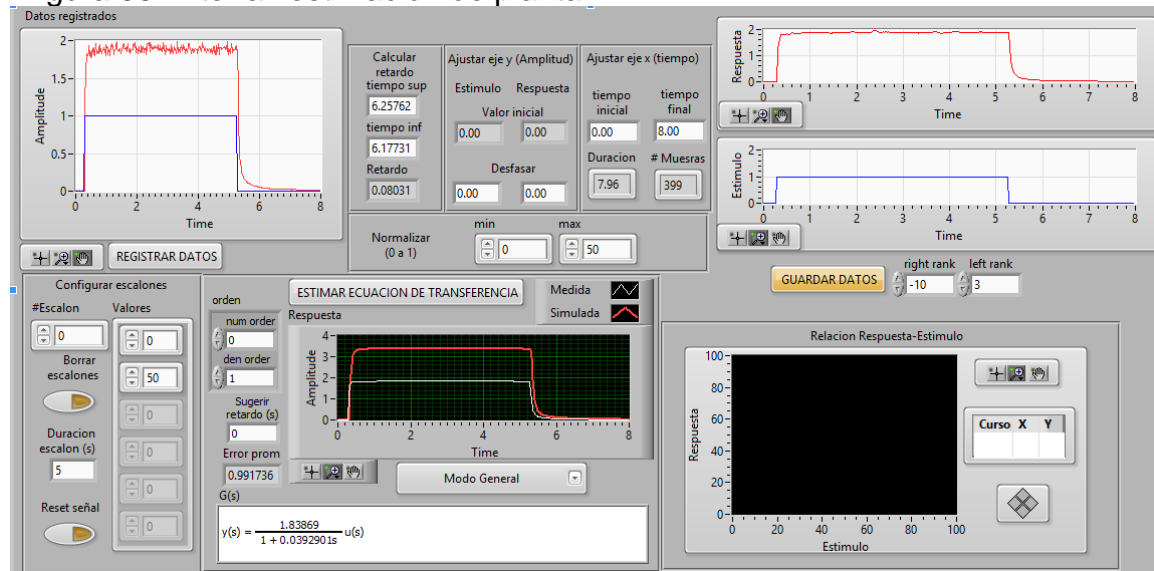
linealidades distorsionen la respuesta.

Una forma de evitar caer en la mala estimación por las no linealidades, es hacer varias pruebas en el set point, que puedan ser de interés para el proceso, con rangos de subida y bajada, dividiendo las mediciones en los escalones de subida y los de bajada para manejar ecuaciones de transferencia en cada parte si es necesario.

4.3.1 Interfaz comportamiento planta

Con estos conceptos se elaboró una interfaz para la estimación de planta, que tiene en cuenta los procedimientos anteriormente descritos. En la **Figura 55** se puede ver la interfaz mencionada.

Figura 55. Interfaz estimación de planta



Antes de registrar los datos se configura el apartado de la **Figura 56**, que representa la configuración deseada, para comenzar a enviar los escalones como estímulos, teniendo en cuenta que estos escalones se configurarán con el procedimiento anteriormente sugerido para no tener distorsiones por no linealidades del sistema.

Figura 56. Configurar escalones

#Escalon	Valores
0	0

Borrar escalones

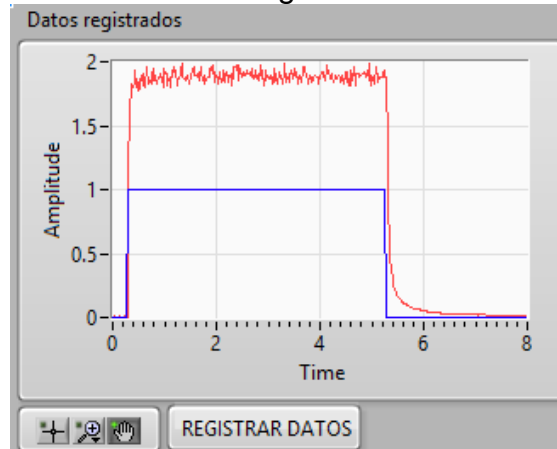
Duracion escalon (s): 5

Reset señal

0, 50, 0, 0, 0, 0

La **Gráfica 7** muestra, en los datos registrados, los valores que se quieren empezar a recoger de la adquisición de datos tomada anteriormente por medio del botón inferior.

Gráfica 7. Datos registrados



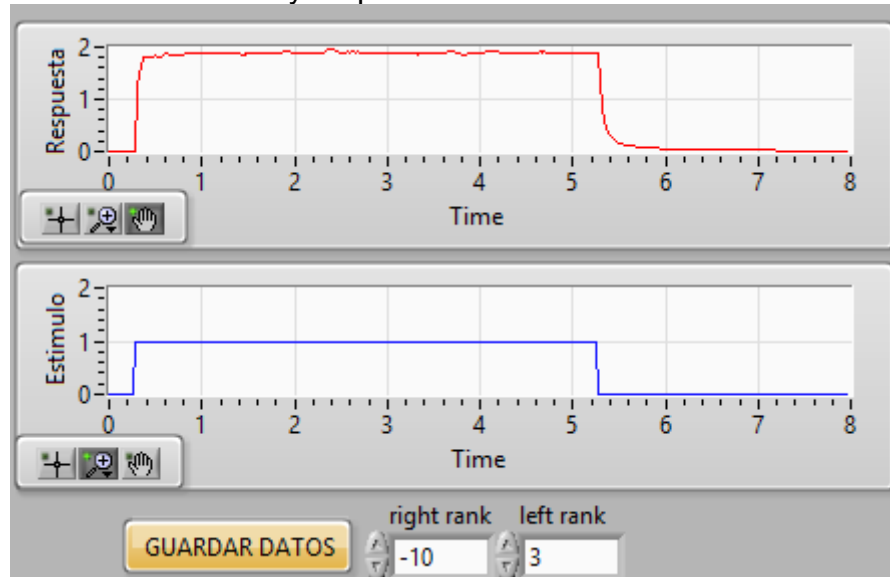
Para la **Figura 57** se tiene en cuenta la normalización de los datos para poder realizar los cálculos pertinentes anteriormente descritos, con la capacidad de aproximar el tiempo de retardo midiendo la diferencia entre el tiempo de desfase del estímulo y la respuesta. Seguido a estos ajustes se puede mover los datos en su eje vertical para tener valores iniciales 0, y en el eje horizontal se puede recortar el fragmento de tiempo con el que realmente se va a calcular la ecuación de transferencia.

Figura 57. Ajustar datos registrados

<p>Calcular retardo</p> <p>tiempo sup 0</p> <p>tiempo inf 0</p> <p>Retardo 0</p>	<p>Ajustar eje y (Amplitud)</p> <table border="1"> <tr> <th>Estimulo</th> <th>Respuesta</th> </tr> <tr> <td>Valor inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4.43</td> <td>5.03</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Desfazar</td> </tr> <tr> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	Estimulo	Respuesta	Valor inicial		4.43	5.03	Desfazar		0.00	0.00	<p>Ajustar eje x (tiempo)</p> <table border="1"> <tr> <th>tiempo inicial</th> <th>tiempo final</th> </tr> <tr> <td>0.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Duracion</td> </tr> <tr> <td>9.98</td> <td># Muestras</td> </tr> <tr> <td></td> <td>500</td> </tr> </table>	tiempo inicial	tiempo final	0.00	10.00	Duracion		9.98	# Muestras		500
Estimulo	Respuesta																					
Valor inicial																						
4.43	5.03																					
Desfazar																						
0.00	0.00																					
tiempo inicial	tiempo final																					
0.00	10.00																					
Duracion																						
9.98	# Muestras																					
	500																					

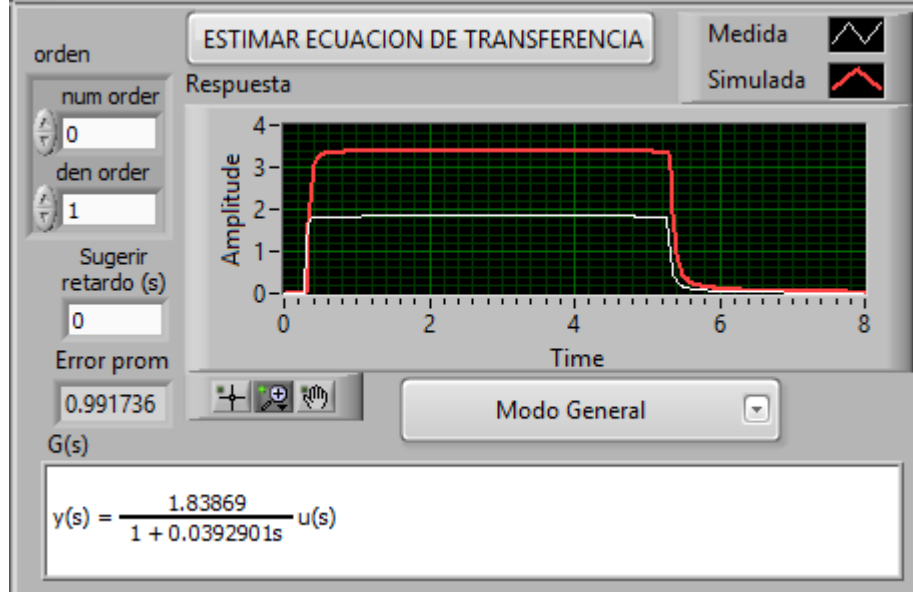
Para la sección de la **Gráfica 8**, se tiene ya el resultado que se va a estudiar dentro del software para la ecuación de transferencia. En la parte inferior se encuentra un botón que guarda los datos anteriores en dicha gráfica y aparte se tiene dos controladores numéricos que tienen como fin promediar y filtrar los sectores en que presentan ruido en la gráfica de respuesta.

Gráfica 8. Estímulo y respuesta normalizadas



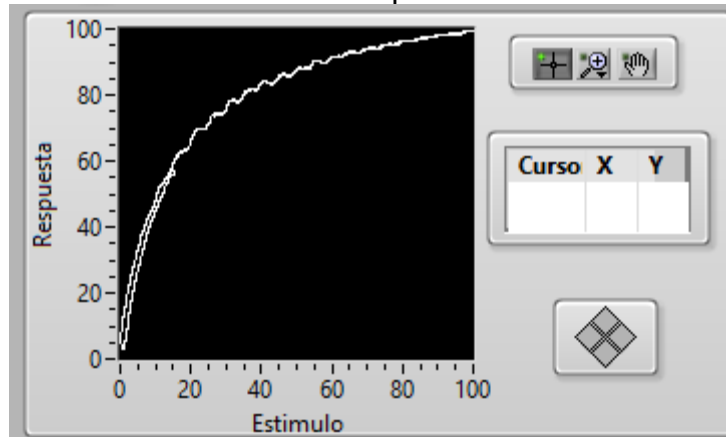
En la **Figura 58** se muestra el método descrito para lograr obtener una función de transferencia que responda a los estímulos dados, ajustando el orden del numerador y el denominador y sugiriendo un tiempo de retardo. La figura muestra la respuesta simulada y la medida real, junto a un indicador de error mostrando la diferencia entre las dos señales y promediándolas.

Figura 58. Estimación de ecuación de transferencia



La **Gráfica 9** representa el comportamiento de la respuesta en función del estímulo para observar en qué partes de la medición estos dos elementos se comportan en forma lineal, y para establecer en qué parte se pudiese saturar o no la señal de respuesta frente al estímulo. Lo ideal es que esta relación sea proporcional en todos los rangos para procurar trabajar dentro de los más lineales posibles.

Gráfica 9. Estímulo vs Respuesta



4.4 DESARROLLO DE CONTROLADOR

Para el diseño de un sistema de control se requiere de condiciones especiales que hagan que el controlador a utilizar sea el adecuado para dicho sistema, que mantenga las condiciones de funcionamiento favorables para el proceso, y que controle en los equipos las variables importantes que aseguren el rendimiento del proceso.

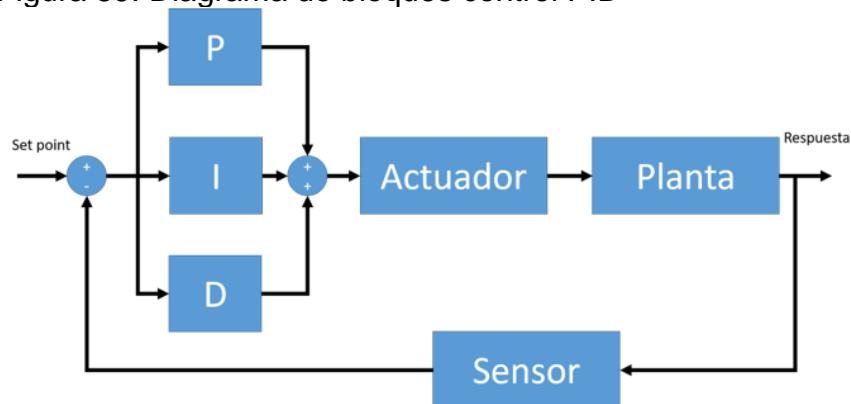
Las condiciones especiales que se deben considerar para la selección del controlador son: modelar la planta y/o sistema que se va controlar, analizar y sintetizar el controlador adecuado, simular el comportamiento de la planta y el controlador y por último desarrollar el controlador.

De los pasos anteriores, se realizó el primero que es una estimación aproximada del modelo de la planta con las ecuaciones de transferencia. Para dar paso a la siguiente condición, de analizar y sintetizar el controlador adecuado se consideran los métodos de control más comunes encontrados a nivel industrial y uno de estos métodos es el PID.

4.4.1 Control PID. El control PID hace referencia, por sus siglas, al control proporcional, integral y derivativo. Estas tres frases en conjunto, encierran uno de los controladores más usados por sus buenos resultados y variaciones, que se adaptan a requerimientos de control específicos y porque son los más usados cuando no se conoce el modelo matemático exacto que describe la planta.

Estos requerimientos están coordinados en conjunto con el comportamiento de la planta. Cada acción de control se puede representar de igual manera como una función de transferencia y esta a su vez en un diagrama de bloques, como se ve en la **Figura 59**. Las ubicaciones de estos bloques pueden entregar resultados diferentes a la hora de controlar, aunque esencialmente todas buscan corregir el error a su mínima expresión posible.

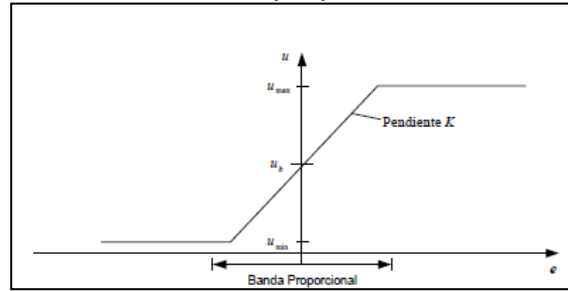
Figura 59. Diagrama de bloques control PID



La configuración común, con resultados aceptables para este tipo de controladores PID, es en paralelo, como se ve en la **Figura 59**

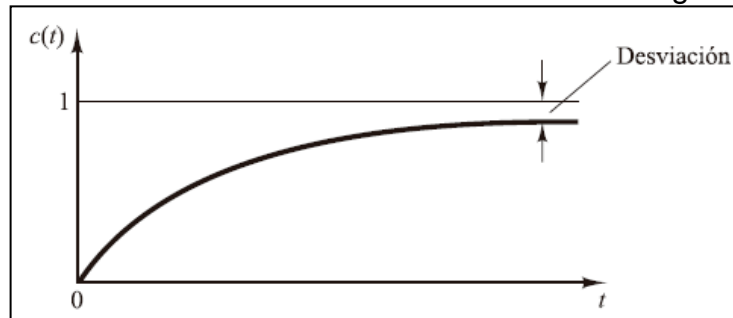
La acción proporcional evita las oscilaciones que tiene el control on-off cuando sobreactúa a cambios de errores pequeños, obligando a que la variable de estímulo cambie completamente, y dando un rango conocido como banda proporcional para que el estímulo no tenga cambios bruscos como se ve en la **Gráfica 10**.

Gráfica 10. Acción proporcional



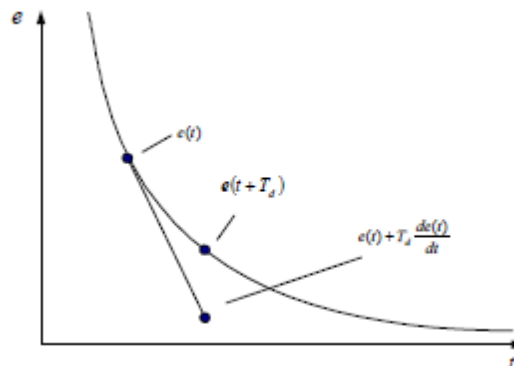
La acción integral ayuda a que el error en estado estacionario disminuya; esto quiere decir que la señal de setpoint debe concordar con el valor en estado estacionario requerido, donde normalmente el sólo controlador proporcional tendrá un error, cómo se observa en la **Gráfica 11**. El estado estacionario denomina la desviación y lo corregirá la acción integral.

Gráfica 11. Desviación de control si acción integral



La acción derivativa se adelanta a la respuesta del sistema, buscando mejorar la estabilidad del sistema. La acción derivativa extrapola el error en dirección tangente a la curva como se ve en la **Gráfica 12**.

Gráfica 12. Acción derivativa en el error



El controlador PID también tiene su representación matemática en forma de función de transferencia como se ve en la Ecuación 12.

Ecuación 12. Representacion PID en paralelo

$$PID = k_p(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1})$$

Donde k_p representa la constante de proporcionalidad encargada de establecer relación entre el cambio de valor de la señal de respuesta y el cambio de valor de la señal de estímulo.

La constante de tiempo integral T_i , representa el tiempo requerido para que la acción integrar intervenga en la salida del controlador en una cantidad igual a la acción proporcional. Una constante de tiempo grande refleja una acción integral pequeña.

La constante de tiempo derivativa T_d , representa el tiempo requerido para que la acción derivativa intervenga dentro del control, donde una constante de tiempo pequeña genera una acción derivativa pequeña

El filtro derivativo representado por α cumple la función de alivianar la acción proporcional cuando esta es muy sensible a cambios.

El controlador sintonizara, las constantes por medio del método Ziegler-Nichols que se muestra en la **Tabla 40**, utilizado para estimar las constantes del PID, usando la respuesta del sistema ante una entrada escalón como en la **Gráfica 13**, donde L representa el retardo y T la constante de tiempo en la función de transferencia de la planta.

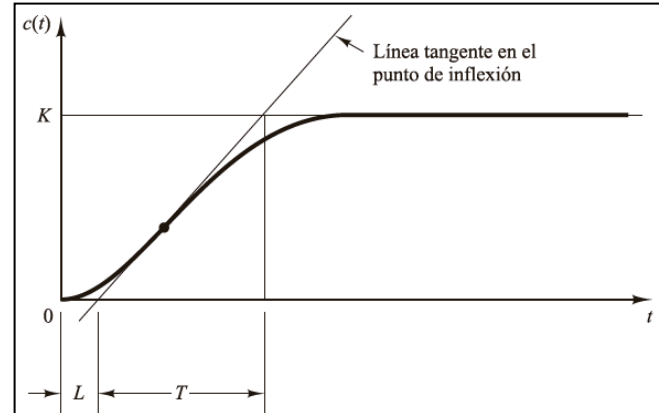
Tabla 40. Método sintonizador PID Ziegler-Nichols

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: (Ogata 2003)⁷⁴

⁷⁴OGATA,Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna. Pearson Educación, 2003. p. 61

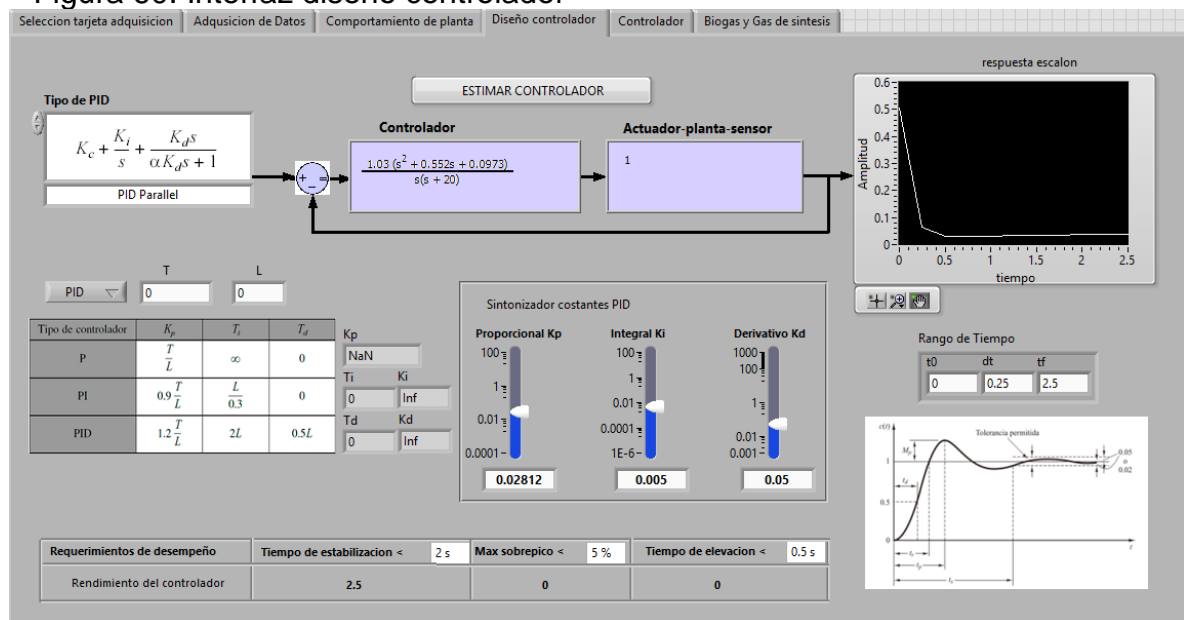
Gráfica 13. Curva S ante entrada escalón



Fuente: (Ogata 2003)⁷⁵

En la **Figura 60** se pueden ver los conceptos anteriores, implementados en la interfaz realizada en LabVIEW.

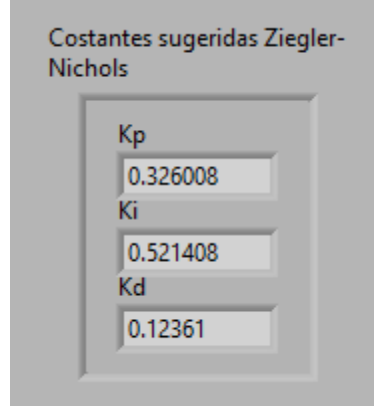
Figura 60. Interfaz diseño controlador



En la **Figura 61**, se pueden ver implementados los procedimientos de sintonización por el método de Ziegler-Nichols. Estos son posibles de calcular con los términos obtenidos de la ecuación de transferencia obtenida anteriormente para la planta.

⁷⁵ OGATA, Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna. Pearson Educación, 2003. p. 70

Figura 61. Constantes método Ziegler-Nichols



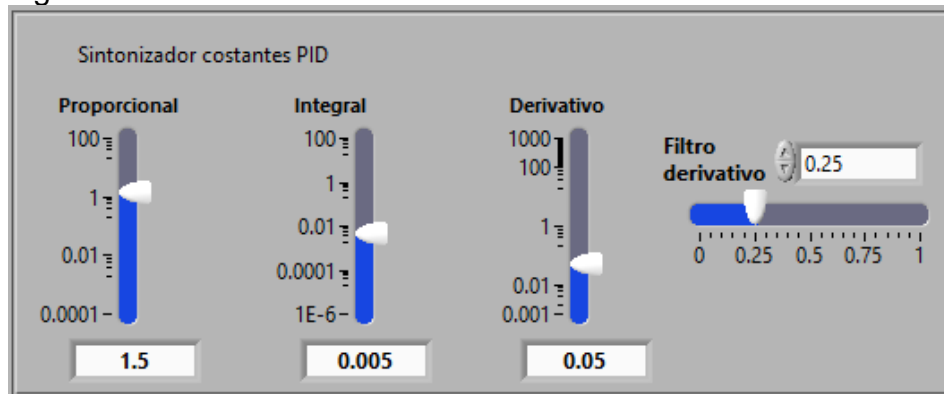
El método por Ziegler-Nichols ha sido utilizado por muchos sistemas como método para sintonizar los controladores PID cuando no se conoce con exactitud el comportamiento de la planta, sirviendo como punto de partida para continuar ajustando estos valores hasta obtener los requerimientos de desempeño deseados que se pueden ver en el apartado de la **Figura 62**.

Figura 62. Requerimientos de desempeño del controlador

Requerimientos de desempeño	Tiempo de estabilizacion <	Max sobrepico <	Tiempo de elevacion <	Estabilidad
Rendimiento del controlador	2 s	5 %	0.5 s	stable
	2.5	12	0.12	

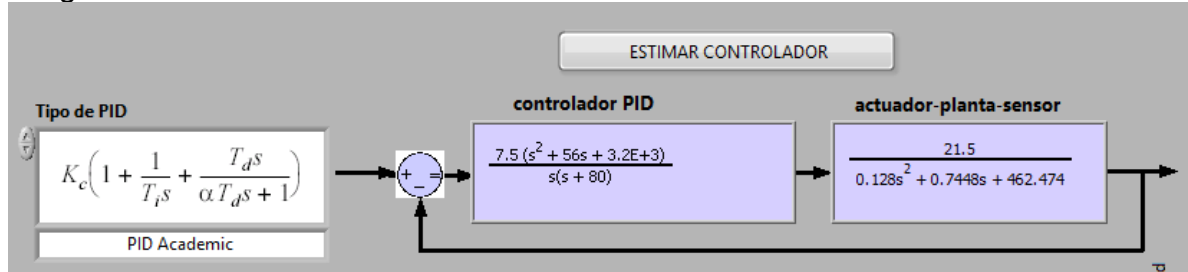
Estos requerimientos de desempeño buscan la estabilidad y una sintonía fina del controlador que puede ajustarse directamente en el apartado visto en la **Figura 63**.

Figura 63. Sintonizador constante PID



Estos cálculos se realizan ejecutando el botón "Estimar controlador" (**Figura 64**), y se reproducen en el recuadro del diagrama de bloques que comparte a su vez el bloque del conjunto planta-sensor-actuador, que fue medido en los procedimientos anteriores.

Figura 64. Estimar controlador



La **Gráfica 14** muestra la respuesta en modo escalón del controlador con las constantes sintonizadas, permitiendo ajustar el tiempo de duración de este escalón.

Gráfica 14. Respuesta de controlador a un escalón



A pesar de que se estima las constantes del controlador, siempre es necesario realizar pruebas de ensayo y error para obtener resultados más acordes con los requerimientos de la planta.

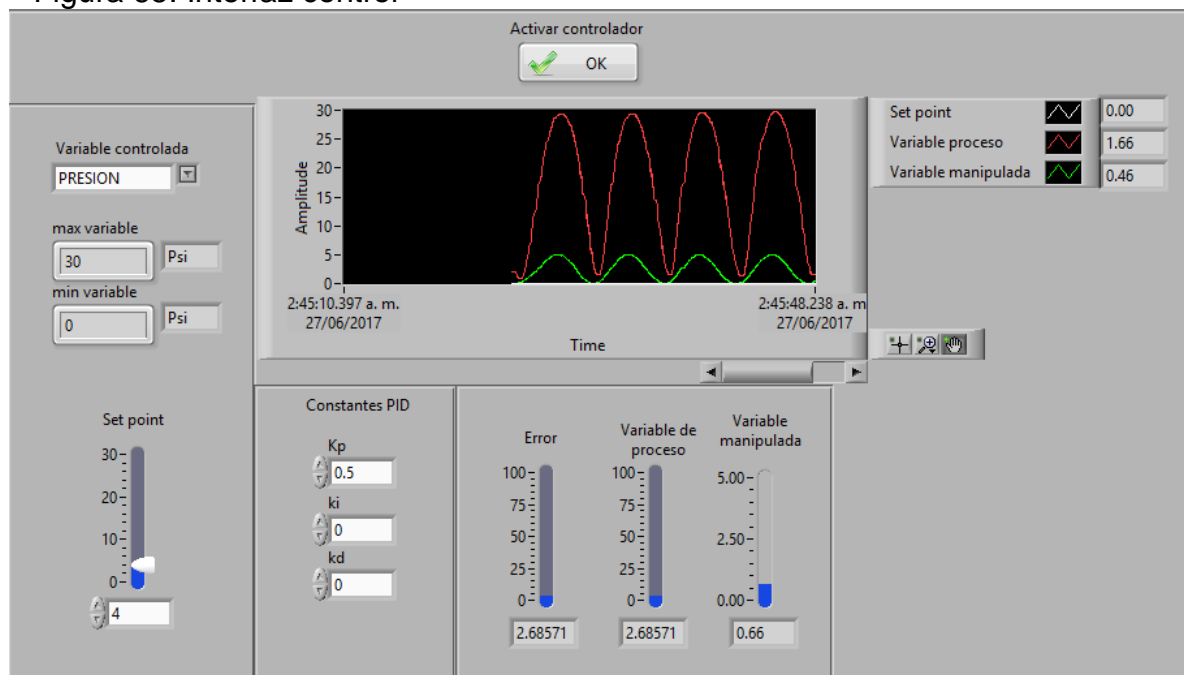
4.5 MONITOREO Y CONTROL

Cómo último paso, se consignan las constantes y se selecciona la variable que se va tratar y los rangos mínimos y máximos del proceso, como lo pueden ser la temperatura, presión o caudal.

Se asignan los rangos bajo los cuales cambia la variable controlada, se asigna un valor de set point que corresponde al valor puntual del proceso en que la variable interviene, y se realiza un ajuste con las constantes del PID para que el valor de la variable del proceso sea igual al set point deseado. El sistema ideal sería que la diferencia entre estos valores sea cero, pero éste siempre se calibra para que la diferencia entre estos valores sea la menor posible, como podemos ver en la **Figura 65**, que muestra, además, la variable a controlar con sus rangos de operación, el valor de setpoint asignado, el valor final de la variable que se va a controlar y la una zona de asignación de constantes del PID.

De esta forma se muestra que las constantes del PID pueden realizar un control sobre las variables y se logran adaptar, por medio de los pasos expuestos anteriormente, a las diferentes condiciones de operación tanto en el biogás como en el gas de síntesis.

Figura 65. Interfaz control



Se recomienda relacionar la variable que entrega sensor con el fenómeno a medir, por ejemplo, cuando un sensor de temperatura tiene que enviar una señal a través de la tarjeta en forma de voltaje, estableciendo una porción para mostrarlo en unidades de temperatura y no de voltaje.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control realizado en el capítulo 4 refleja un software de instrumentación virtual que busca mantener y corregir el valor de las variables controladas. Este resultado debe demostrarse sometiendo a prueba el instrumento virtual, que se validará en este capítulo con pruebas que asemejan la situación real a las que está sometido el instrumento virtual.

Aunque no se tienen aún todos los equipos establecidos anteriormente en los procesos de acondicionamiento de gas de síntesis y biogás, se pueden hacer las pruebas con procesos análogos como se describieron en el capítulo 4. Demostrando así las alternativas de operación aplicables a los procesos involucrados en el acondicionamiento de gas de síntesis y biogás.

5.1 PRUEBAS CON LA TARJETA NATIONAL INSTRUMENTS

Posteriormente para comprobar un funcionamiento con unas tarjetas de adquisición de mayor gama, así demostrar que el programa lograr funcionar de manera correcta, se logró trabajar con las tarjetas de adquisición de LabVIEW que son de mayor velocidad además de que se realizó la prueba con un sistema neumático el cual se observó que el programa logró adquirir el valor de presión y recibir el valor de voltaje respectivo, para luego este ser controlado por el programa.

Las tarjetas utilizadas para las pruebas son las que se encuentran a disposición en el laboratorio de automatización y control de procesos de la universidad América. Estas tarjetas de adquisición están instaladas en una base cDAQ1-9174, cada una de ellas con una función específica para una mejor medición y control: una de ellas tiene la capacidad de recibir señales analógicas, otra envía señales analógicas, y la otra recibe y envía señales digitales.

Para la comprobación de los valores teóricos con los reales en la práctica se determinaron los valores teóricos, basándose en la normalización de variables la cual estandariza cual es la variable del proceso real y la variable simulada.

Donde la variable real representa en este caso la medición de voltaje obtenida en la tarjeta de national instruments d9057, la cual está conectada a un presostato, el cual maneja unos rangos de presión de 0 a 60 psi y una salida voltaje de 0 a 5.

La variable teórica se representa con los rangos del presostato, se le realiza un proceso de normalización el cual sirve para la manipulación de las señales por medio de un ordenador. Se debe efectuar la normalización de todas las variables para que puedan ser debidamente manejadas por el computador, buscando una relación que permita conocer lo que sería sus valores en el sistema real.

En la mayoría de los casos, dicha normalización requiere que el computador indique valores de 0 a 1 o en su defecto de 0 a 100%. Sin embargo, estos rangos se pueden

cambiar dependiendo del caso a medir ya que en el caso del experimento se quiere obtener el valor que indica el manómetro como instrumento físico, y el computador como un instrumento virtual.

La **Figura 66** muestra el valor de presión bajo el cual está funcionando el sistema neumático usado para la comprobación del sistema de LabVIEW.

Figura 66. Unidad de mantenimiento laboratorio



El presostato **Figura 70** con un rango de voltaje de 1V a 5V, muestra una presión de 30.2 psi en el tablero digital, que corresponde aproximadamente a la indicada en el manómetro simultáneamente.

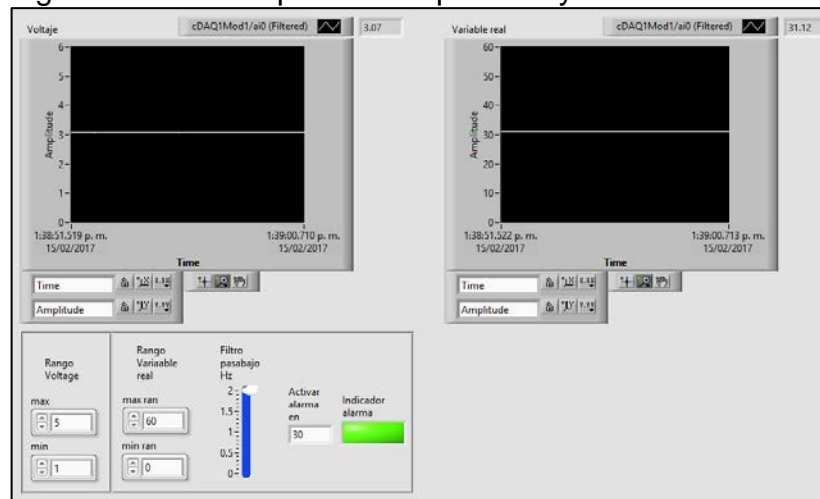
Figura 67 Presostato en presión 30,2 psi



Este presostato fue calibrado antes de la prueba con unos valores de presión mínima de 0 psi y máxima de 60 psi, directamente proporcionales con los valores de voltaje, dando para los 60 psi un voltaje de 5 y para 0 psi un voltaje mínimo de 1. Si se toma como referencia la presión de trabajo de 30.2 psi, en teoría el valor de voltaje debería ser 2.7 voltios. Este valor teórico se puede determinar gracias a que el instrumento usado en esta prueba, el presostato, presenta un comportamiento lineal en su relación de presión con voltaje.

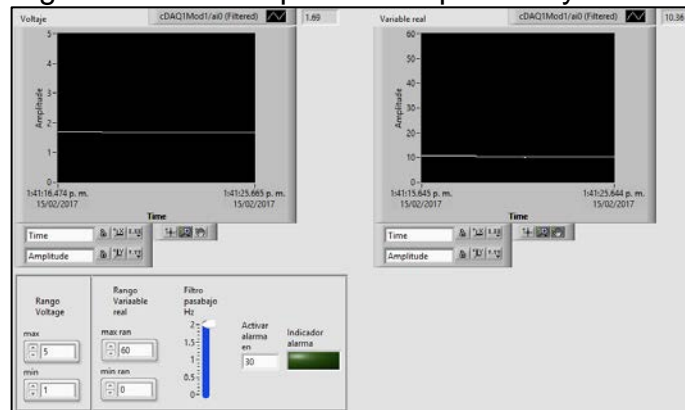
En la **Figura 68**, se muestra una interfaz desarrollada en LabVIEW para la comprobación de la adquisición de los datos. El valor obtenido, muy aproximado al teórico, corresponde a voltios y puede observarse en el recuadro izquierdo de la interfaz. El valor de presión obtenido en la prueba neumática puede verse en el recuadro de la derecha.

Figura 68. Interfaz prueba Adquisición y control con NI a 31,12 psi



Para la comprobación de los datos se realizó otra prueba con una presión de 10.2 psi, determinando así que el valor teórico para esta prueba corresponde a 0.85 v +1.

Figura 69. Interfaz prueba Adquisición y control con NI a 10 psi



La adquisición de los datos se pudo realizar por medio del presostato, la unidad neumática del sistema y la tarjeta de national instruments, que permitió una toma de datos más exacta que la tarjeta de arduino.

Esta prueba demuestra la capacidad de los equipos mostrados, al monitorear las señales en lazo abierto que se disponen en el sistema de acondicionamiento establecido, con el fin de que el operador encargado tome las acciones correctivas necesarias en caso de mostrarse alguna medición anómala en el proceso, garantizando su correcto funcionamiento.

El mismo procedimiento se implementa en lazos de control cerrados donde el controlador diseñado en LabVIEW es el encargado de tomar las acciones correctivas respecto a la presión medida en el sistema.

5.2 PRUEBAS CON LA TARJETA ARDUINO

Como ya se ha mencionado, la tarjeta Arduino hace parte del proyecto por su facilidad de manejo y obtención, sirviendo como alternativa para implementar un sistema sencillo pero demostrativo de la capacidad del sistema de control para ser implementado en los procesos de acondicionamiento de biogás y gas de síntesis.

Este sistema consta de una fotorresistencia capaz de variar su resistencia dependiendo de la cantidad de luz que ingrese a su cabezal, como se ve e en el esquema eléctrico que hizo parte del sistema como se ve en la **Figura 71**.

Antes de iniciar el control se calibran los elementos que lo componen, con los parámetros que se ven en la **Figura 70**.

Figura 70. Interface con parámetros a configurar

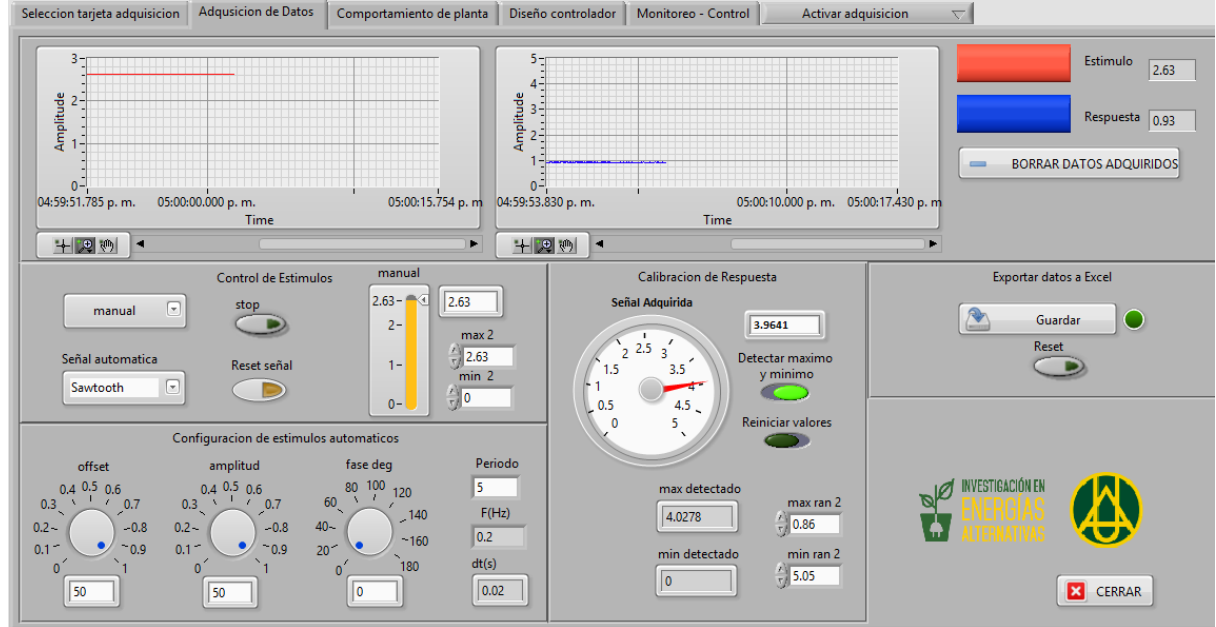
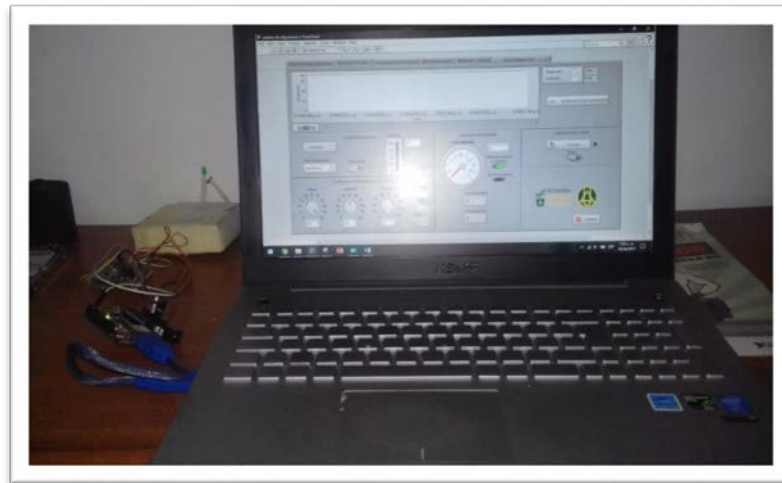


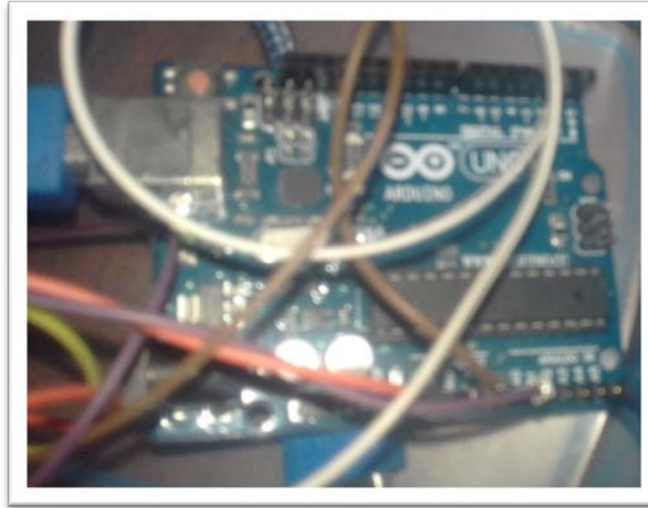
Figura 71. Conexiones arduino LabVIEW y prototipo fotorresistencia – led



Se realizó el montaje con el Hardware Arduino como se ve en la **Figura 72**, ya que el alcance de la prueba anterior era comprobar que luego de la instalación de diversas tarjetas de adquisición, el software fuera capaz de recibir señal e interpretarla.

Con el montaje de la tarjeta Arduino se desarrolló un prototipo de muestra para comprobar que el programa también es capaz de realizar un control sobre las variables.

Figura 72. Conexiones a placa Arduino



El montaje consta de la placa de Arduino común, una fotorresistencia y un bombillo led como se ve en la **Figura 73** cuya intensidad corresponde a la equivalencia de la variable manipulada; de ahí su importancia en el montaje.

Figura 73. Conjunto fotorresistencia-led



Con la intención de obtener los valores reales obtenidos por la fotorresistencia, se miden los rangos máximos y mínimos para configurar el programa, tal como se ve en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Rangos máximos y mínimos

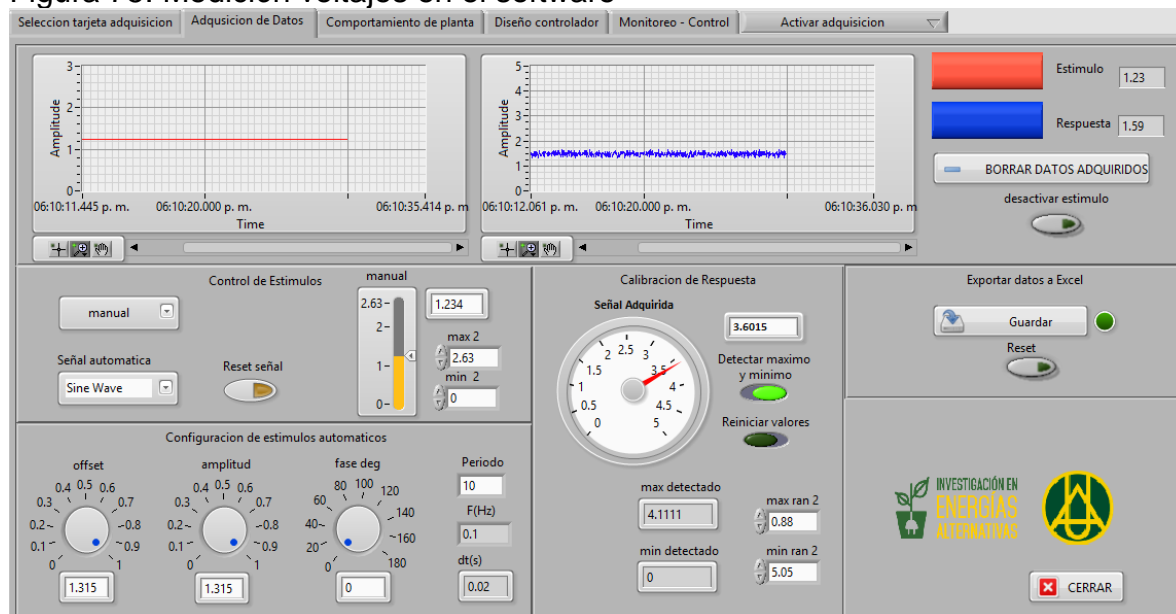
	Voltaje del Led	Voltaje de la fotocelda
Máximo	2.63 V	5.05 V
Mínimo	0 V	0.88 V

Para comprobar estos valores de voltaje se mide con un multímetro digital demostrando que el valor obtenido en él es igual al obtenido en el software, como se ve en la **Figura 74** y **Figura 75**.

Figura 74 Medición de voltaje en multímetro



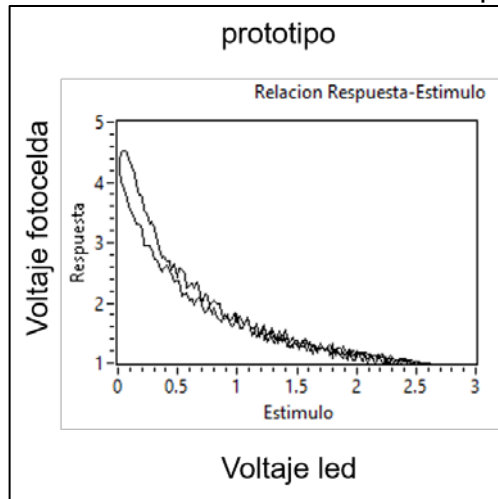
Figura 75. Medición voltajes en el software



Como el programa tiene la capacidad de relacionar la señal de estímulo con la de respuesta (ver capítulo 5), se pretende analizar el comportamiento del prototipo

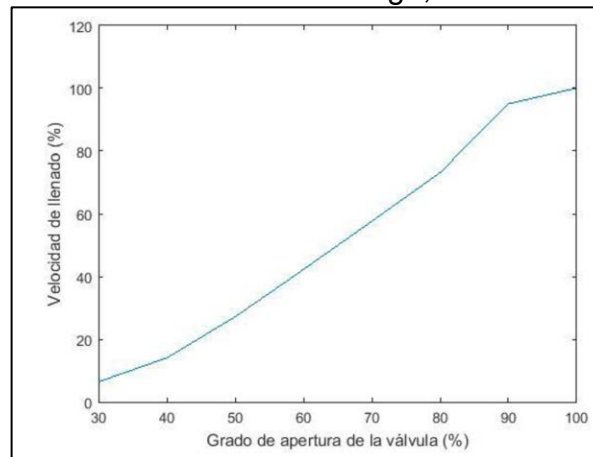
para encontrar los rangos en los cuales el sistema puede reaccionar y observar si tiene o no un comportamiento lineal. En la **Gráfica 15** la se puede observar esta relación.

Gráfica 15. Relación estímulo respuesta del prototipo



Se puede ver que, como sucede en la mayoría de sistemas reales, no hay linealidad completa, pero se puede analizar en tramos donde tiende a serlo. Esta gráfica también puede servir para observar los puntos de saturación que pueda tener el sensor y que se asemejan a los rangos que llevan dentro su ficha técnica, para este caso es de 0 a 5 voltios, en otros casos como en el llenado de un tanque, la apertura de la válvula en la **Gráfica 16** solo reflejara cambios de velocidad cuando sea mayor al 30%.

Gráfica 16. Relación análoga, velocidad de llenado con válvula



Fuente:(REQUENA 2016) ⁷⁶

⁷⁶ REQUENA,CARLOS PANAL. Desarrollo de una aplicación en LabVIEW para el control de caudal y nivel en una planta piloto.

Con el fin de obtener la aproximación más cercana a la realidad del comportamiento del sistema, se establece un escalón de subida y de bajada, partiendo de un punto de equilibrio que por lo general es el valor en el cual se debe mantener el sistema +25% y -25%, con un tiempo para la estabilización de 5 segundos. Análogamente, cada sistema puede tener un punto de equilibrio, variaciones y tiempos de estabilidad diferentes

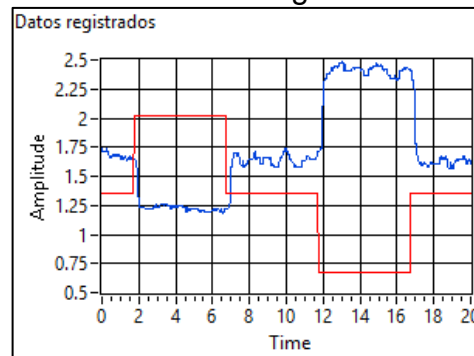
La **Tabla 42** refleja los voltajes enviados por el led a la fotorresistencia.

Tabla 42. Voltajes escalón enviados

	Voltaje del Led
50%	1.35
25%	0.675
75%	2.025

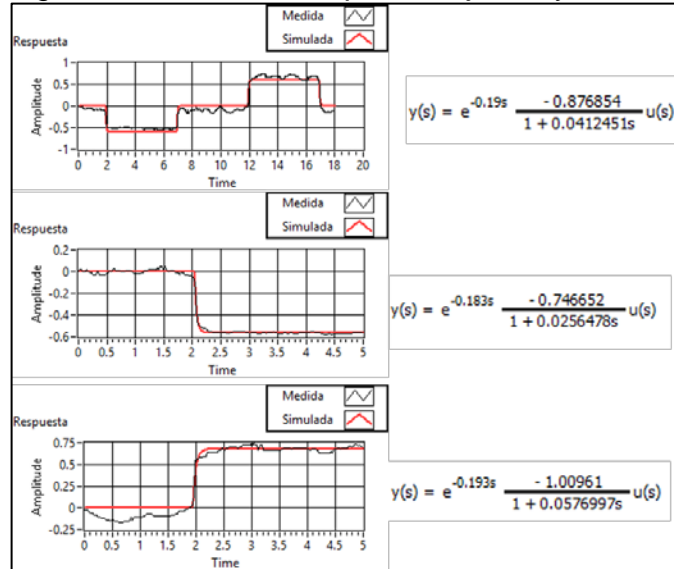
La **Gráfica 17** refleja los voltajes registrados durante la comprobación con el prototipo.

Gráfica 17. Datos registrados en prototipo



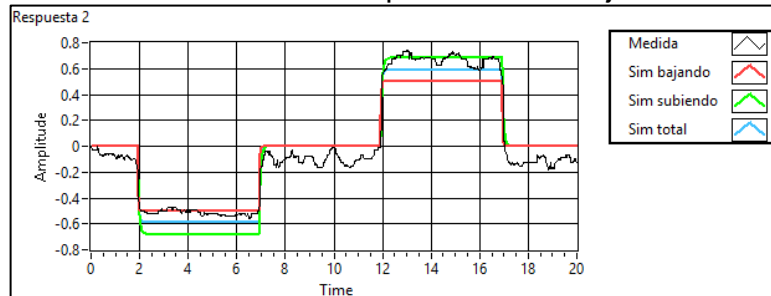
En el momento de estimar la ecuación de transferencia se obtuvieron los resultados reflejados en la **Figura 76**.

Figura 76. Escalón completo, bajando y subiendo



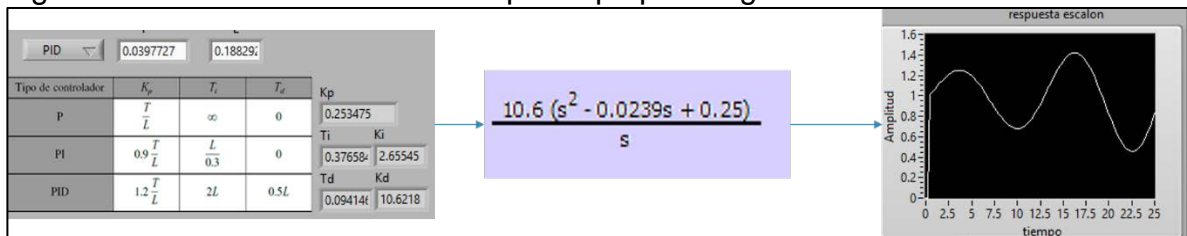
Con el fin de validar las pruebas, se demuestra que las funciones de transferencia subiendo y bajando se adaptan perfectamente a su respectivo escalón, pero la que tiene un comportamiento más equitativo es la función de transferencia que contempla ambos escalones, como se ve en la **Gráfica 18**.

Gráfica 18. Simulación de pruebas en conjunto



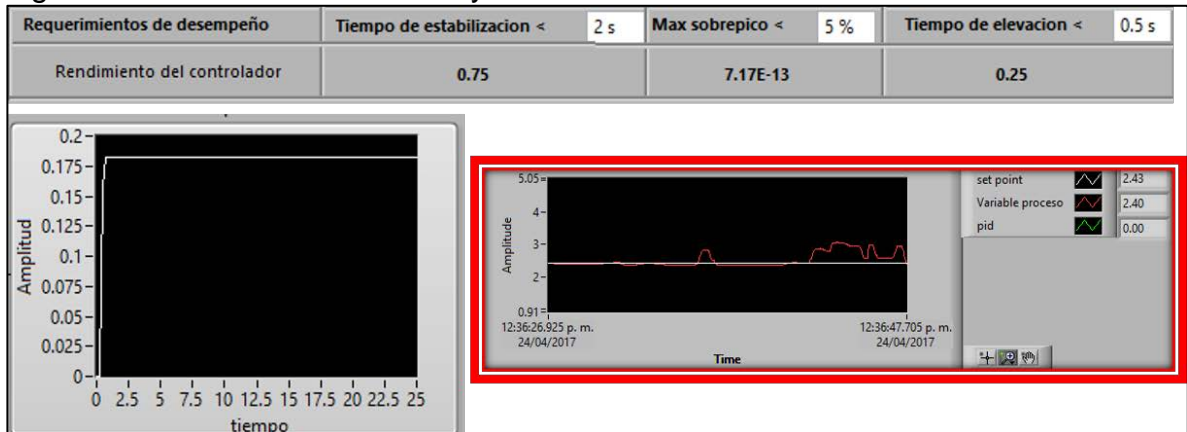
Posterior a esto se sintonizan las constantes del PID por Ziegler-Nichols (**Figura 77**) y, como es de esperarse, no se refleja un sistema estable.

Figura 77 Sintonización de PID del prototipo por Ziegler-Nichols



Por consiguiente, se hace una sintonización manual, partiendo de los datos arrojados y se logra establecer las constantes que estabilizan el sistema y obedecen unos requerimientos de desempeño establecidos, reflejándose estas constantes en la gráfica inferior izquierda de la **Figura 78**.

Figura 78. Sintonización manual y uso de las constantes calculadas



6. CONCLUSIONES

- La identificación de las características del gas de síntesis y el biogás establece las condiciones de tratamiento y las etapas de limpieza que requieren para la obtención de un gas de condiciones óptimas para su utilización en un MCI.
- Para el control del proceso del gas de síntesis y biogás es importante la determinación de parámetros como la temperatura, presión y flujo, ya que éstos son lo que garantizan que el gas obtenido después del tratamiento cumple con los requisitos para el funcionamiento en un motor de combustión interna (MCI). Dichos parámetros, en conjunto con los equipos seleccionados usados a nivel comercial, pueden establecer el procedimiento de acondicionamiento y los fenómenos a medir y controlar.
- El software desarrollado se adapta y convierte en parte importante del proceso al ser capaz de tomar las decisiones de control pertinentes, así como de informar del estado en el que se pueda encontrar. Por medio de su interfaz de usuario logra ofrecer una visión global y aproximar el comportamiento del lazo de control por medio de ecuaciones de transferencia, dando paso al desarrollo de un control proporcional de mayor fiabilidad y de condiciones estables para los procesos de acondicionamiento del biogás y gas de síntesis. LabVIEW es una herramienta de instrumentación virtual capaz de intervenir en el control de diversos fenómenos, teniendo las herramientas de programación necesarias para la construcción del software.
- Las pruebas de medición de la capacidad de control del software realizadas empleando un prototipo, permiten comprobar la correcta adquisición de datos del programa para ser interpretados por medio de resultados reflejados en dicho prototipo, el lazo cerrado de led fotorresistencia, con el respectivo control sobre la variable a manipular, se obtiene el valor de variable controlada. La tarjeta de National instruments demuestra igualmente capacidad para adquirir datos del presostato que permiten hacer su interpretación y monitoreo. Ambas pruebas validan así la versatilidad del software desarrollado para adaptarse a esos experimentos y a los lazos de control que intervienen en el proceso de acondicionamiento de gas de síntesis y biogás.
- La selección de la instrumentación para el control y manipulación de las variables se determina según las condiciones de operación, los equipos, y las variables que los gobiernan. La compatibilidad de estos con el software permite una mejor adquisición por lo que, a la hora de hacer dicha selección, es importante conocer el tipo de salida de la señal y los rangos de voltaje y amperaje bajos los cuales funcionan.

7. RECOMENDACIONES

- Este proyecto recomienda que sean ejecutados los debidos diseños de los equipos involucrados en el acondicionamiento de gas de síntesis y biogás. Estos diseños se basan en las delimitaciones de un modelo a escala laboratorio creado para estudios e investigaciones sobre el uso de estos gases como combustibles en motores de combustión interna.
- Se recomienda estudiar la modelación matemática de los equipos involucrados para una mejor estimación de planta, para hacer un control más semejante a su comportamiento real, y para un desarrollo de software de instrumentación virtual con la capacidad de usarse en los diferentes lazos de control que se pueden encontrar en el proceso.
- Por último, este proyecto recomienda hacer un estudio financiero para evaluar su posible implementación como un aporte a los demás proyectos del semillero de investigación sobre el acondicionamiento del gas de síntesis y el biogás.

BIBLIOGRAFÍA

ABATZOGLOU,Nicolas y BOIVIN,Steve. A review of biogas purification processes. En: BIOFUELS, BIOPRODUCTS AND BIOREFINING. vol. 3, no. 1, p. 42-71

ANIS,Samsudin y ZAINAL,ZA. Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. En: RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS. vol. 15, no. 5, p. 2355-2377

BIERNAT,Krzysztof; GIS,Wojciech y SAMSON-BRĘK,Izabela. Review of technology for cleaning biogas to natural gas quality. En: SILNIKI SPALINOWE. vol. 51,

BOLTON,William y RAMÍREZ,Francisco José Rodríguez. Ingeniería De Control. Alfaomega Mexico, 2001.

BRIDGWATER,A. y Generaldirektion Wissenschaft Europäische Kommission. Thermal Biomass Conversion and Utilization: Biomass Information System. Office for Official Publications of the European Communities, 1996.

CASTELLS,Xavier Elías. Biomasa y Bionergía: Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos, 2012.

CASTRO,PO y CAMACHO,EF. Control e instrumentación de procesos químicos. En: SÍNTESIS.

CHACÓN RUGELES,Rafael. La instrumentación virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica. En: ACCIÓN PEDAGÓGICA. vol. 11, no. 1, p. 80-88

DEUBLEIN,Dieter y STEINHAUSER,Angelika. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. John Wiley & Sons, 2011.

ELÍAS CASTELLS,Xavier y VELO,Enric. La Gasificación. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos, 2012.

ESTRADA,Carlos Augusto y MENESES,Alberto Zapata. Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. En: SCIENTIA ET TECHNICA. vol. 2, no. 25,

FERNÁNDEZ,Jesús. Energía de la Biomasa. En: 2004): LA ENERGÍA EN SUS CLAVES, MADRID, FUNDACIÓN IBERDROLA. p. 397-445

GENSETS,From Biomass-powered. Carbon-Negative ENERGY.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana NTC 1486: Documentación Presentación De Tesis, Trabajos De Grado y Otros Trabajos De Investigación. 2008.

_____. Norma Técnica Colombiana NTC 5613: Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma y Estructura. 2008.

_____. Norma Técnica Colombiana NTC 4490: Referencias Documentales Para Fuentes De Información Electrónica. 1998.

KUMAR,Ajay; JONES,David D. y HANNA,Milford A. Thermochemical biomass gasification: a review of the current status of the technology. En: ENERGIES. vol. 2, no. 3, p. 556-581

MARTÍNEZ,José Miguel Molina y BUENDÍA,Manuel Jiménez. Programación Gráfica Para Ingenieros. Marcombo, 2010.

MCKINSEY,ZS. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow manure compost. En: A THESIS FACULTY OF THE GRADUATE SCHOOL OF CORNELL UNIVERSITY.

National Instruments. LabVIEW System Identification Toolkit User Manual - National Instruments [Print(0)]. [Consultado el 2/10/20172017]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:mN4Ov9QL3MMJ:www.ni.com/pdf/manuals/371001a.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co>

OGATA,Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna. Pearson Educación, 2003.

PEREZ,Juan; BORGE,David y AGUDELO,John. Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico – experimentales. Marzo.vol. N 52, no. Fac. ing. univ. Antioquia, p. 95-pp 95-107

PETERSSON,Anneli y WELLINGER,Arthur. Biogas upgrading technologies–developments and innovations. En: IEA BIOENERGY. vol. 20,

RENOVABLES,Energías. Energía Biomasa. En: PUBLICADO POR LA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SECRETARÍA DE ENERGÍA.REPÚBLICA ARGENTINA.SITIO WE b: [HTTP://energia.MECON.GOV.AR](http://energia.MECON.GOV.AR).

REQUENA,CARLOS PANAL. Desarrollo de una aplicación en LabVIEW para el control de caudal y nivel en una planta piloto.

ROCA CUSIDO,Alfredo. Control Automático De Procesos Industriales: Con Prácticas De Simulación y Análisis Por Ordenador PC. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos, 2014.

RODRÍGUEZ,José. Instrumentación Industrial. En: FOLLETO DIDÁCTICO, ESPEL, LATACUNGA. p. 620-626

RYCKEBOSCH,Eline; DROUILLON,Margriet y VERVAEREN,Han. Techniques for transformation of biogas to biomethane. En: BIOMASS AND BIOENERGY. vol. 35, no. 5, p. 1633-1645

SAN MIGUEL,G. y GUTIÉRREZ MARTÍN,F. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. En: MADRID: MUNDI-PRENSA.

SEOANEZ CALVO,Mariano y CALVO,Mariano Seoanez. En: TRATADO DE LA BIOMASACON ESPECIAL INCIDENCIA SOBRE LA BIOMASA COMO FUENTE ENERGETICA.

SHARMA,SD, et al. A critical review of syngas cleaning technologies—fundamental limitations and practical problems. En: POWDER TECHNOLOGY. vol. 180, no. 1, p. 115-121

SMITH,Carlos A. y CORRIPIO,Armando B. Principles and Practice of Automatic Process Control. Wiley New York, 1985.

SOISSON,Harold E. y RODRÍGUEZ,Hortensia Corona. Instrumentación Industrial. Limusa, 1980.

SOLÉ,Antonio Creus. Instrumentación Industrial. Marcombo, 2012.

STEVENS,Christian y BROWN,Robert C. Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power. John Wiley & Sons, 2011.

SUÁREZ PORRAS,Daniel Valencia y BAUTISTA,David Felipe. Diseño a Escala Laboratorio Del Sistema De Acondicionamiento Del Gas De Síntesis Para Un Motor De Combustión Interna. [Print(0)]. [Consultado el 5/12/20172017]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6048>

VARNERO MORENO,María Teresa. Manual De Biogás. Roma, IT: D - FAO, 2011.

VIZCAÍNO,José Rafael Lajara y SEBASTIÁ,José Pelegrí. LabView: Entorno Gráfico De Programación. Marcombo, 2011a.

VIZCAÍNO, José Rafael Lajara y SEBASTIÁ, José Pelegrí. LabView: Entorno Gráfico De Programación. Marcombo, 2011b.

WOOLCOCK, Patrick J. y BROWN, Robert C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. En: BIOMASS AND BIOENERGY. vol. 52, p. 54-84

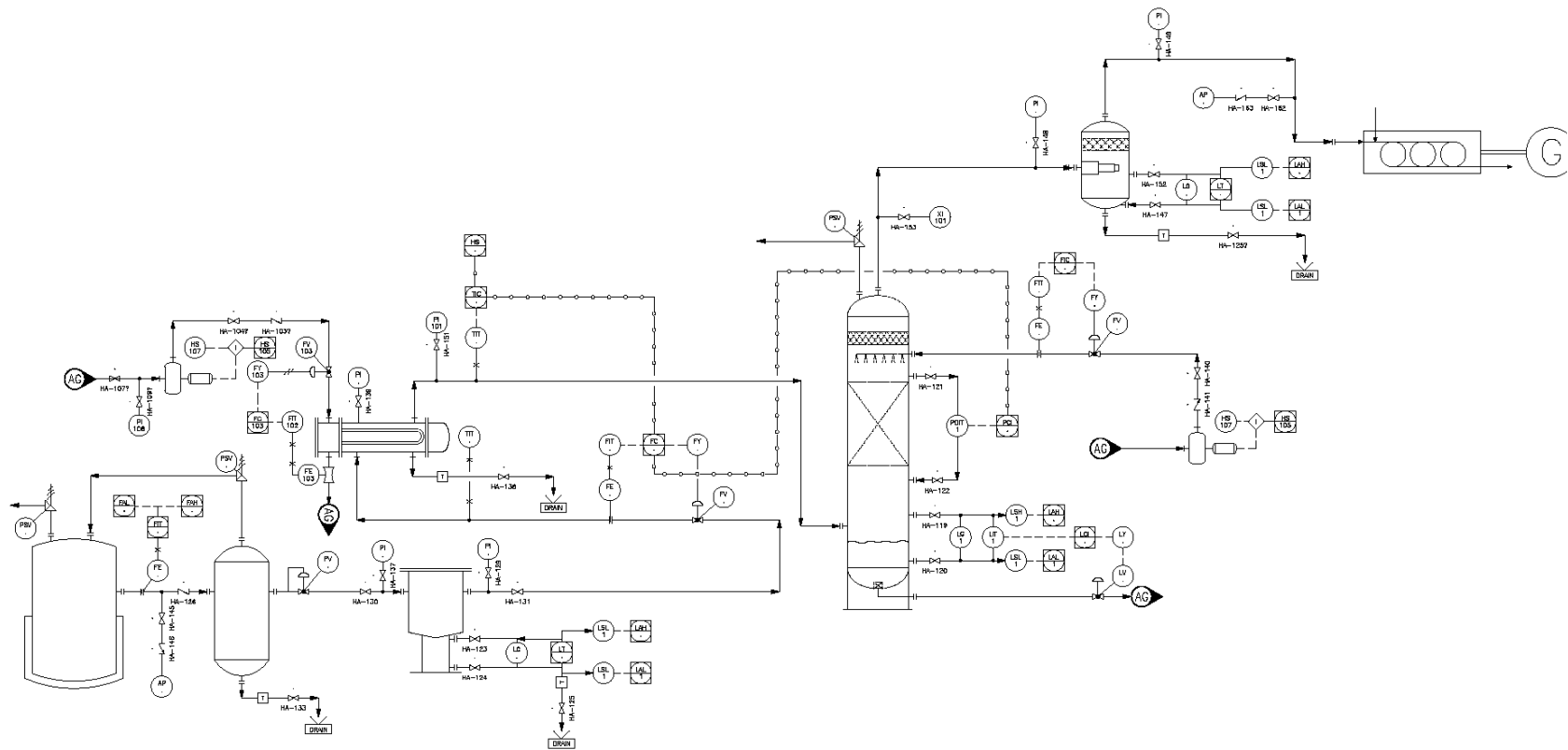
ANEXOS

ANEXO A.

CD SOFTWARE INSTRUMENTO VIRTUAL

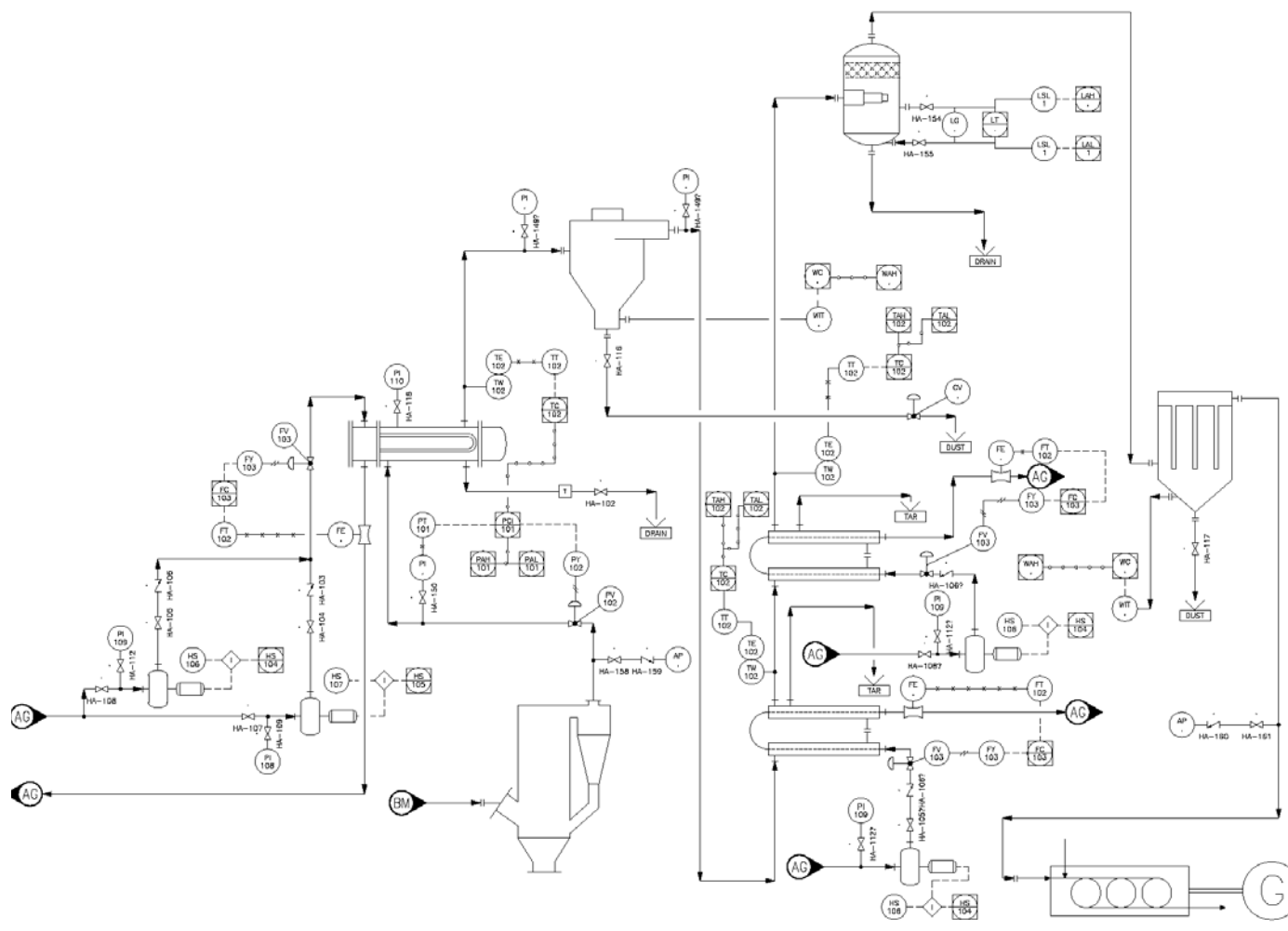
ANEXO B.

P&ID BIOGÁS ESCALA INDUSTRIAL



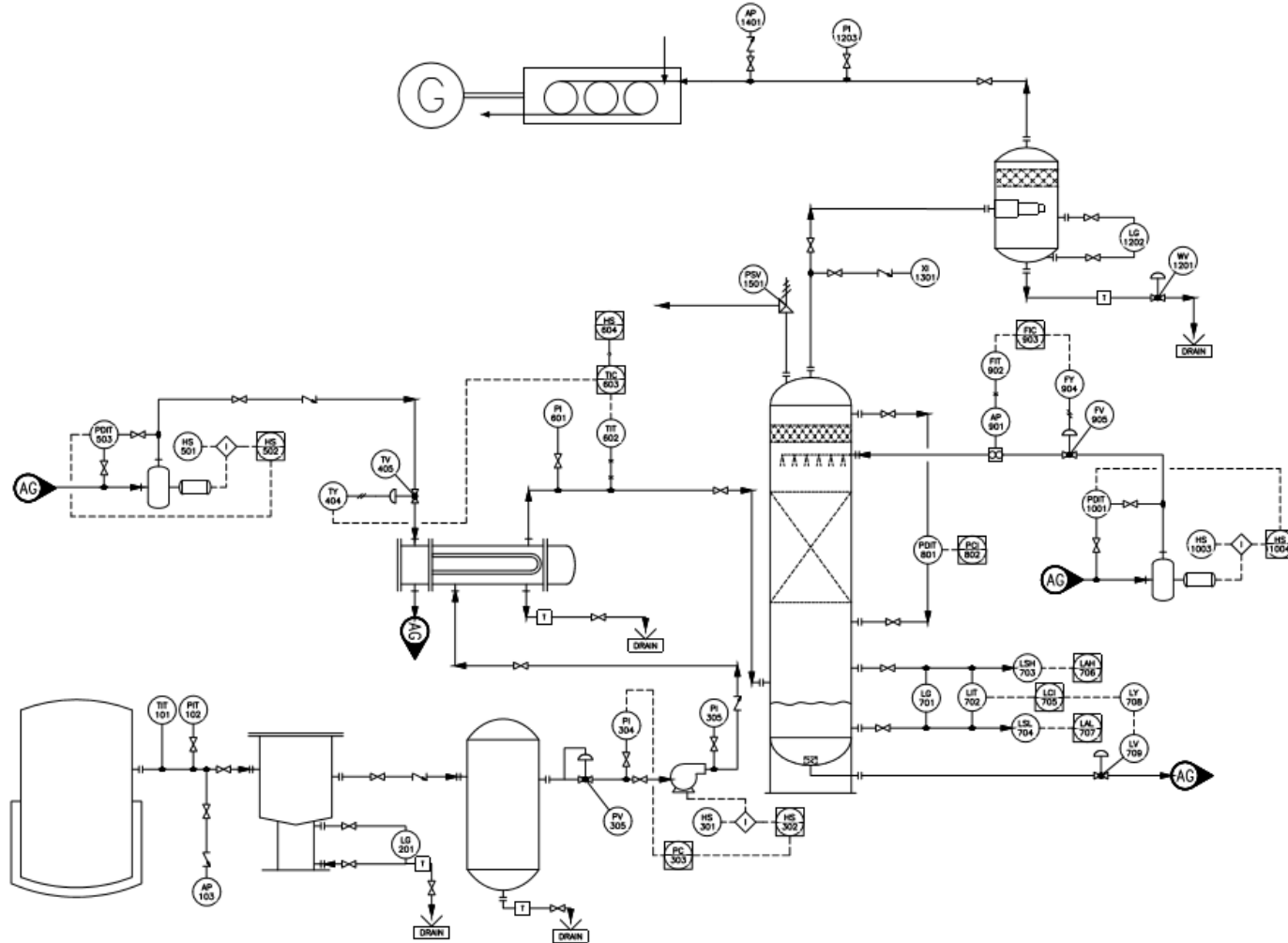
ANEXO C.

P&ID SYNGAS ESCALA INDUSTRIAL



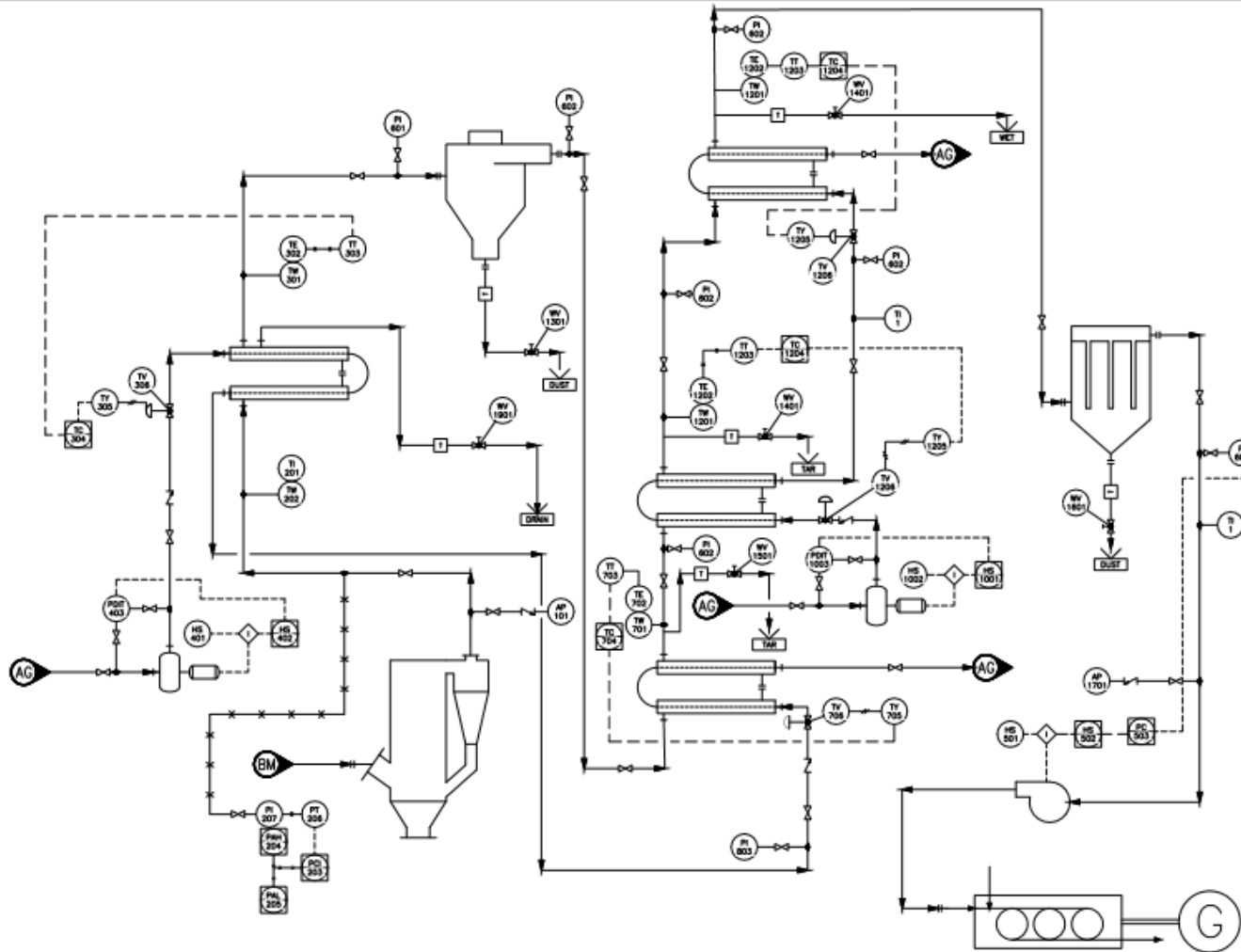
ANEXO D.

P&ID BIOGÁS ESCALA LABORATORIO



ANEXO E.

P&ID GAS DE SÍNTESIS ESCALA LABORATORIO



ANEXO F.

LAZOS DE CONTROL BIOGÁS

Lazo de control 100

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Punto de prueba	Concentración de gas	-	Abierto	101

Lazo área 200

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Control	Válvula de presión	Presión del gas	Apertura de la válvula	Abierto	201

Lazo área 300

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Indicador de presión	Presión de gas	-	Abierto	301
Seguimiento	Indicador de nivel	Nivel de condensado		Abierto	302

Lazo área 400

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Medidor de flujo	Cantidad de flujo	-	Abierto	401

Control	Transmisor de flujo	Flujo volumétrico	Flujo de agua	Cerrado	402, 403, 404
Control	Válvula de flujo	Apertura válvula	Flujo de agua	Cerrado	405

Lazo de control 500

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Indicador de presión	Presión flujo agua	-	Abierto	503
Control	Encendido bomba	Encendido bomba	Presión de agua	Abierto	501,502

Lazo de control 600

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Indicador de presión	Presión gas	-	Abierto	601
Control	Transmisor de temperatura	Temperatura gas	Flujo de agua	Cerrado	602, 603

Lazo área 700

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Seguimiento	Mirilla de vidrio	Nivel del agua	-	Abierto	701

Control	Transmisor e indicador de nivel	Nivel del agua	Apertura válvula	Cerrado	702, 705
Control	Válvula de flujo	Nivel de agua	Apertura válvula	Cerrado	709

Lazo área 800

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Indicador de presión	Caídas de presión	-	Abierto, seguimiento	801,802

Lazo área 900

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	ítem
Control	Controlador de flujo	Flujo del agua	Apertura de la válvula	Cerrado	901, 903
Control	Válvula de flujo	Apertura válvula	Flujo de agua	Cerrado	905

Lazo área 1000

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Encendido bomba	Encendido bomba	Presión de agua	Abierto	501,502

Lazo área 1100

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de condensados	Válvula de escape	Abierto	1101

Lazo área 1200

	Descripción	V. controlada	v. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensado nebulizador	Peso de condensados	-	Abierto	1201
Seguimiento	Mirilla de vidrio	Nivel condensado	-	Abierto	1202
Seguimiento	Indicador de presión	Presión del gas	-	Abierto	1203,1204

Lazo área 1300

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	pH metro	Acidez o alcalinidad	-	Abierto	1301

Lazo área 1400

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Punto de prueba	Estado final gas	-	Abierto	1401

Lazo área 1500

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
seguimiento	Válvula de seguridad	Presión en torre de lavado	-	Abierto	1501

ANEXO G.

LAZOS DE CONTROL GAS DE SÍNTESIS

Lazo área 100

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Punto de prueba	Estado inicial gas	-	Abierto	701

Lazo área 200

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Válvula de presión	Presión gas	Apertura válvula	Cerrado	201
Control	Transmisor, indicador de presión	Presión gas salida gasificador	Apertura válvula	Cerrado	206,207

Lazo área 300

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Medidor de flujo	Cantidad de flujo	-	Abierto	301
Control	Transmisor de flujo	Flujo volumétrico	Flujo de agua	Cerrado	302, 303, 304
Control	Válvula de flujo	Apertura válvula	Flujo de agua	Cerrado	305

Lazo área 400

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Indicador de presión	Presión flujo agua	-	Abierto	403
Control	Encendido bomba	Encendido bomba	Presión de agua	Abierto	401,402

Lazo área 500

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	medidor de temperatura	temperatura gas	Flujo agua	cerrado	502
Control	Transmisor de temperatura	Temperatura gas	Flujo de agua	cerrado	504, 503

Lazo área 600

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Indicador de presión	Presión del gas	-	Abierto	601, 602

Lazo área 700

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Medidor de temperatura	Temperatura gas	Flujo agua	Cerrado	702
Control	Transmisor de temperatura	Temperatura gas	Flujo de agua	Cerrado	704, 703

Lazo área 800

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Indicador de presión	Presión flujo agua	-	Abierto	803
Control	Encendido bomba	Encendido bomba	Presión de agua	Abierto	801,802

Lazo área 900

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Transmisor de flujo	Flujo volumétrico	Flujo de agua	Cerrado	901, 902, 903
Control	Válvula de flujo	Apertura válvula	Flujo de agua	Cerrado	904

Lazo área 1000

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
--	-------------	---------------	---------------	--------------	------

Seguimiento	Indicador de presión	Presión flujo agua	-	Abierto	1003
Control	Encendido bomba	Encendido bomba	Presión de agua	Abierto	1001,1002

Lazo área 1100

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Transmisor de flujo	Flujo volumétrico	Flujo de agua	Cerrado	1101, 1102, 1103
Control	Válvula de flujo	Apertura válvula	Flujo de agua	Cerrado	1104

Lazo área 1200

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Control	Medidor de temperatura	Temperatura gas	Flujo agua	Cerrado	1202
Control	Transmisor de temperatura	Temperatura gas	Flujo de agua	Cerrado	1204, 1203

Lazo área 1300

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de condensados	Válvula de escape	Abierto	1301

Lazo área 1400

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de alquitrán	Válvula de escape	Abierto	1401

Lazo área 1500

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de alquitrán	Válvula de escape	Abierto	1501

Lazo área 1600

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de condensados	Válvula de escape	Abierto	1601

Lazo área 1700

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Punto de prueba	Estado final gas	-	Abierto	1701

Lazo área 1800

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
--	-------------	---------------	---------------	--------------	------

Seguimiento	Condensado nebulizador	Peso de condensados	-	Abierto	1801
Seguimiento	Mirilla de vidrio	Nivel condensado	-	Abierto	1802

Lazo área 1900

	Descripción	V. controlada	V. manipulada	Tipo de lazo	Item
Seguimiento	Condensados	Cantidad de alquitrán	Válvula de escape	Abierto	1901

ANEXO H.

CATÁLOGOS INSTRUMENTOS BIOGÁS

manómetros con muelle tubular

serie standard

DN 40-50



PED 2014/68/EU

Manómetros realizados para ser utilizados con fluidos líquidos o gaseosos que no ataquen la aleación de cobre, no presenten una viscosidad elevada y que no cristalicen.

1.01.1 - Modelo standard DN40

Normativa de referencia: EN 837-1

Escala: de 0...2,5 a 0...40 bar; de 0...30 a 0...600 psi
(u otras unidades de medidas equivalentes).

Clase de precisión: 1,6 según EN 837-1.

Temperatura ambiente: -25°C...+50°C.

Temperatura del fluido de proceso: + 65 °C máx.

Deriva térmica: max $\pm 0,4$ %/10 K de la escala (a partir de 20°C).

Presión de trabajo:

75% del VFE para presiones estáticas;

66% del VFE para presiones pulsantes.

Sobrepresión (máx 15 min):

25% del VFE para escalas ≤ 100 bar;

15% del VFE para escalas superiores a 100 bar.

Grado de protección: IP 40 según IEC 529.

Racord de conexión al proceso: en aleación de cobre.

Muelle tubular: en aleación de cobre.

Soldadura: en aleación de cobre.

Caja: en acero inox.

Visor: en plástico.

Mecanismo: en aleación de cobre.

Esfera: en aluminio con fondo blanco, graduación y numeración en negro.

Aguja indicadora: no ajustable, en aluminio, de color negro.

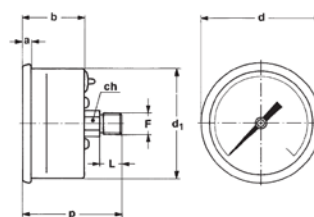
1.01.1 - Modelo standard DN50

Escala: de 0...2,5 a 0...400 bar; de 0...30 a 0...6000 psi
(o otras unidades de medidas equivalentes).

Temperatura ambiente: -25°C...+65°C.

Resto de características: como el modelo standard, DN 40.

MS



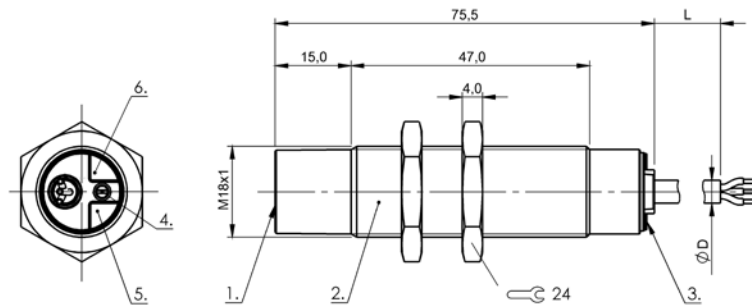
D - POSTERIOR
para montaje local directo.

Montaje	DN	F	a	b	c	d	d ₁	h	p	L	ch	Peso
Posterior	A 40	11M - G 1/8 A 13M - 1/8-27 NPT		26,5	11	41			45	10	12	0,07 kg
Radial	B 50	21M - G 1/4 A	4	29	11	56	51			13	14	0,1 kg
Radial	B 50	23M - 1/4-18 NPT	4	29		56	51	47,9		15	14	0,1 kg
Posterior	B 50	11M - G 1/8 A 13M - 1/8-27 NPT	4	29		56	51	47,9	46	10	12	0,085 kg

SECUENCIA PARA ENCARGAR

Sección /	Modelo /	Caja /	Montaje /	Diámetro /	Escala /	Conexión al Proceso /	Opciones
1	01	1	A	A			11M
			D	B			13M
							21M
							23M

BCS M18BBH1-PSC15H-EP02 BCS00LL



1) Sensing surface 2) Housing 3) Cover 4) Potentiometer 5) LED Power 6) LED function indicator



Display/Operation

Function indicator	yes
Power indicator	yes

Electrical connection

Cable diameter D	4.60 mm
Cable length	2 m
Conductor cross-section	0.34 mm ²
Connection type	Cable, 2.00 m, PUR
Number of conductors	3
Polarity reversal protected	yes
Short-circuit protection	yes

Electrical data

Hysteresis H max. (% of Sr)	15.0 %
MTTF (40 °C)	226 a
No-load current I ₀ max., undamped	13 mA
Operating voltage U _b	10...30 VDC
Protected against miswiring	no
Rated insulation voltage U _i	75 V DC
Rated operating current I _e DC	100 mA
Rated operating voltage U _e DC	24 V
Ready delay t _v max.	300 ms
Repeat accuracy max. (% of Sr)	2.0 %
Switching frequency	100 Hz
Utilization category	DC -13
Voltage drop static max.	1.5 V

Environmental conditions

Ambient temperature	-25...85 °C
---------------------	-------------

Internet	www.balluff.com
Balluff Germany	+49 (0) 7158 173-0, 173-370
Balluff USA	1-800-543-8390
Balluff China	+86 (0) 21-50 644131

Protection class	II
Protection type IEC 60529	IP67
Storage temperature	-40...85 °C

Functional safety

Diagnostic coverage	0 %
Functional safety	no

General data

Approval/Conformity	CE cULus
Basic standard	IEC 60947-5-2
Scope of delivery	Nut (2x)
Sensitivity	Switching distance adjustable
Trademark	Global

Material

Cover material	PA
Housing material	PBT
Material cover	PA
Material jacket	PUR
Material sensing surface	PBT

Mechanical data

Dimension	Ø 18 x 75.5 mm
Installation	non-flush
Size	M18x1
Tightening torque	2 Nm

For definitions of terms, see main catalog	eCl@ss 9.1: 27-27-01-02
Subject to change without notice	ETIM 6.0: EC002715
	BCS00LL_07-04-17_12:11

Sonda de temperatura Pt100 WTR 110

sonda de temperatura con rosca de sujeción / según DIN 43763 / sonda intercambiable Pt100 de 3 hilos / carcasa de aluminio o acero inoxidable

La sonda de temperatura Pt100 WTR 110 está equipada con una rosca de sujeción. También cumple con la normativa DIN 43763. La sonda de temperatura Pt100 WTR110 se envía como sensor de 3 hilos lo que garantiza una alta precisión. El sensor es intercambiable y se puede sustituir rápidamente por otro en caso de defecto. La carcasa está disponible en aluminio y acero inoxidable y cumple con el tipo de protección IP 54, 69 o 69K. La sonda de temperatura Pt100 mide la temperatura de forma fiable en un rango de -50 ... +400 °C. La rosca de sujeción de la sonda de temperatura Pt100 WTR 110 está disponible por defecto hasta una longitud de 300 mm y es de acero inoxidable 1.4571. El diámetro es de 9 mm. A través de la rosca puede sujetar la sonda de temperatura Pt100 en tuberías o recipientes. Aquí encontrará otros [sensores de temperatura Pt100](#). En el caso que tenga preguntas sobre el equipo, consulte la ficha técnica a continuación o póngase en contacto con nosotros en el número de teléfono 902 044 604 para España, para Latinoamérica e internacional +34 967 513 695 o en el número +56 2 29381530 para Chile. Nuestros técnicos e ingenieros le asesorarán con mucho gusto sobre esta sonda de temperatura Pt100 y sobre cualquier producto de nuestros [sistemas de regulación y control](#), [medidores](#) o [balanzas](#) de PCE Ibérica S.L.



Sonda de temperatura Pt100 WTR 110

- Sonda de temperatura Pt100 de 3 hilos
- Armadura protectora de acero inoxidable
- Cabezal de acero inoxidable o aluminio
- Alta precisión
- Sonda de temperatura Pt100 clase A
- Rango de medición: -50 ... +400 °C
- Sensores disponibles con diferentes longitudes
- Posibilidad de conexión al [transductor KMU 100](#)

PCE Ibérica S.L. | Mayor 53 – Bajo | 02500 Tobarra (Albacete)
 Tel: +34 967 543 548 | Fax: +34 967 543 542 | Email: info@pce-iberica.es
<http://www.pce-iberica.es/>



Especificaciones técnicas

Carcasa

Conexión: acero inoxidable o aluminio
Armadura protectora: acero inoxidable, Ø 9 mm

Tipo de Pt100

3 hilos

Rango de medición

-50 ... +400 °C

Clase de precisión

clase A

Longitud en mm

50, 100, 160, 200, 250, 300

Contenido del envío

1 x sonda de temperatura Pt100 WTR 110, instrucciones de uso

Componentes adicionales



Transductor KMU 100

El transductor KMU se ha concebido para detectar la temperatura de sensores Pt100 y convertirla en una señal normalizada. Este transductor destaca por sus dimensiones compactas y permite una integración con casi cualquier sensor. El transductor ofrece la posibilidad de conectar sensores Pt100 de 2, 3 o 4 hilos. Cuando se conecta un sensor de 2 hilos, el transductor de temperatura KMU 100 dispone de una compensación automática de los conductos, lo que impide que se detecten temperaturas erróneas debido a la resistencia del conducto.

Aquí encuentra usted una visión general de [todos los medidores](#) que le ofrece PCE Instruments.

PCE Ibérica S.L. | Mayor 53 – Bajo | 02500 Tobarra (Albacete)
Tel: +34 967 543 548 | Fax: +34 967 543 542 | Email: info@pce-iberica.es
<http://www.pce-iberica.es/>

Digital proportional servo valves

Flow control - Series LRWD2

Pressure control - Series LRPD2

3/3-way directly operated servo valves for the flow (LRWD2) and pressure control (LRD2)



- » Digital version which is completely configurable through USB
- » Rotating spool system with a metal to metal seal
- » Compact design
- » High flow rate
- » Electronic control to ensure high precision in the flow control
- » 3-way-function with 4 - 6 mm nominal diameters
- » Compact version for cabinet mounting on DIN-rail

Series LRWD2 and LRPD2 digital proportional servo valves are direct driven 3/3-way valves with a patented rotating spool system with closed loop control circuit. The electronic board is integrated into the valve's body ready to connect.

Series LR*D2 digital proportional servo valve has been designed to be as compact as possible in order to save space and to be mounted on a DIN-rail. Thanks to this new digital version, the valve can be configured through a USB connection according to different requirements.

GENERAL DATA

Power supply	24 VDC +/- 10%, stabilized, max. 0,8 A
Control signal	+/- 10 V 0-10 V 0-20 mA
Hysteresis	1% FS
Linearity	1% FS
Switching time	from 0 to 100%: approx. 5 ms +/- 100%: approx. 7 ms
Working temperature	from 0 to 50° C
Relative humidity of air	max. 90%
Direction of assembly	any
Maximum flow rate at 6 bar ΔP 1 bar	450 Nl/min (4mm nominal diameter) 690 Nl/min (6mm nominal diameter)
Medium	5 μ m filtered air, non aggressive gases
Supply pressure	-0,9 to 10 bar
Leakage	< 1% of maximum flow rate
Electrical connection	male connector M12 8 poles

Product Information

Flow Switch FW3



- Compact construction
- Insensitive to dirt

Characteristics

Mechanical flow switch, for fluid media, with spring-supported piston and magnetic triggering of a reed switch. Robust construction in brass.

Technical data

Switch	reed switch	
Nominal width	DN 8	
Process connection	female thread G 1/4 (further process connections available on request)	
Adjustment range	0.4..2.5 l/min	for details see table "Ranges"
Pressure loss	up to 1.9 bar at Q _{max}	
Q _{max}	2.5..6 /min	
Tolerance	±10 % of the full scale value, minimum 0.3 l/min	
Pressure resistance	PN 100 bar	
Media temperature	-20..+90 °C	
Ambient temperature	-20..+70 °C	
Media	water (oils available on request)	
Wiring	normally open (n.o.) No. 0.378	
Switching voltage	max. 230 V AC	
Switching current	max. 0.5 A	
Switching capacity	max. 50 VA	
Protection class	2 - safety insulation	
Ingress protection	IP 67	
Electrical connection	for round plug connector M12x1, 4-pole	
Materials medium-contact	Brass construction: CW614N nickelled, POM, 1.4310, hard ferrite	Stainless steel construction: 1.4305, POM, 1.4310, hard ferrite
Non-medium-contact materials	PC, 1.4301, 1.4305	
Weight	0.25 kg	
Installation location	Standard: horizontal inwards flow; other installation positions are possible; the installation position affects the switching point.	

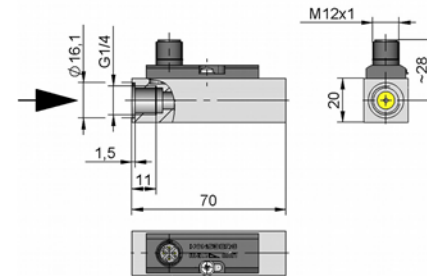
Ranges

Details in the table correspond to horizontal inwards flow with decreasing flow rate.

Switching value l/min H ₂ O Choose between	Q _{max} recommended	Pressure loss bar at Q _{max} H ₂ O
0.4 - 0.6	2.5	1.3
0.7 - 1.4	4.0	1.0
1.5 - 2.5	6.0	1.9

Special ranges are available.

Dimensions



Product Information

FW3-008GM

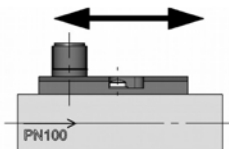
Handling and Operation

Note

- Include straight calming section of 5 x DN in inlet and outlet
- If the media are dirty, install a filter (use magnetic filter for ferritic components).
- It must be ensured that the values given for voltage, current, and power are not exceeded.
- When switch on, a load must be connected in series.
- The electrical details apply to ohmic loads. Capacitive, inductive and lamp loads must be operated using a protective circuit.

Adjustment

As delivered, the device has been set up; if readjustment is required, loosen the screw slightly, twist the switching head to the desired position, and then retighten the screw.



Ordering code

FW3 - 1. 008 2. G 3. 4.

○=program option

1.	Nominal width
008	DN 8 - G 1/8
2.	Process connection
G	female thread
3.	Connection material
M	brass
K	○ stainless steel
4.	Switching value selectable in the range for H ₂ O for horizontal inwards flow (specify switching value when ordering)
006	0.4 - 0.6 l/min
014	0.7 - 1.4 l/min
025	1.5 - 2.5 l/min

Options

- Switching value for oil
- Special values
- Cable outlet 3 m

Ordering information

- Specify direction of flow, medium, and switching range.
- For oils. State viscosity, temperature and designation (e.g. ISO VG 68) (enquire about switching range).

Types 3222 N/5857, 3222 N/5757-3, 3222 N/5757-7 Electric Control Valves

Single-seated Type 3222 N Globe Valve



Application

Control valves for HVAC, particularly suitable for local heat supply and large heating networks

DN 15 · PN 16

Temperatures up to 120 °C (version for treated water) ¹⁾

Temperatures up to 80 °C (version for non-flammable gases)



Special features

- Single-seated globe valve
- Type 3222 N Globe Valve with male thread connection and threaded ends, welding ends or soldering ends
- Metal or soft seal
- Force-locking connection between valve and actuator

Versions

Electric control valve		
Type 3222 N/5857	PN 16	DN 15
Electric control valve with electric actuator with process controller for domestic hot water heating		
Type 3222 N/5757-3	PN 16	DN 15
Electric control valve with electric actuator with process controller for heating and cooling applications		
Type 3222 N/5757-7	PN 16	DN 15

Note

Further control valves with fail-safe action (also tested according to DIN EN 14597) for heating systems available (see Information Sheet ► T 5800).

Accessories

- Threaded ends G 1/2, welding ends, soldering ends (d_i = 15 or 18 mm)
- Intermediate insulating piece (1990-1712)



Fig. 1: Type 3222 N/5857 with male thread connection and soldering ends

¹⁾ For variable operated local heat supply networks or district heating networks

Principle of operation

The medium flows through the single-seated globe valve in the direction indicated by the arrow. The position of the plug (3) determines the flow rate across the area released between plug and valve seat (2).

The linear actuating force is transmitted directly over the actuator stem (7) to the plug stem (5). When the actuator stem extends, the valve plug (3) is moved in the closing direction. The plug stem follows the actuator stem owing to the force of the valve spring (4) as the actuator stem retracts, causing the valve to open.

The valve (1) and actuator have a force-locking connection. An intermediate insulating piece is available for insulated pipes.

Electric actuator

The Type 5857 Electric Actuator can be controlled by three-step signals, or, in the version with positioner, with signals from 0/4 to 20 mA or 0/2 to 10 V.

Refer to the data sheet for more details on the electric actuator:

- ▶ **T 5857:** Type 5857 Electric Actuator

Electric actuators with process controllers

Electric actuators with process controllers are **a combination of an electric actuator and a digital process controller**. The TROVIS 5757-3 Actuator is suitable for domestic hot water heating, whereas TROVIS 5757-7 is suited for heating and cooling applications.

Refer to the data sheets for more details on the electric actuators with process controller:

- ▶ **T 5757:** TROVIS 5757-3 Electric Actuator with Process Controller for domestic hot water heating
- ▶ **T 5757-7:** TROVIS 5757-7 Electric Actuator with Process Controller for heating and cooling applications

Installation of the control valve

Any mounting position may be used, however, the actuator may not be installed in a suspended position.

If the control valve is to be insulated, the actuator and the coupling nut must not be insulated as well. Make sure the permissible ambient temperature is not exceeded. If necessary, an intermediate insulating piece must be used. Do not insulate it over 25 mm.

Ordering text

Control Valve Type:

□ 3222 N/5857, □ 3222 N/5757-3, □ 3222 N/5757-7

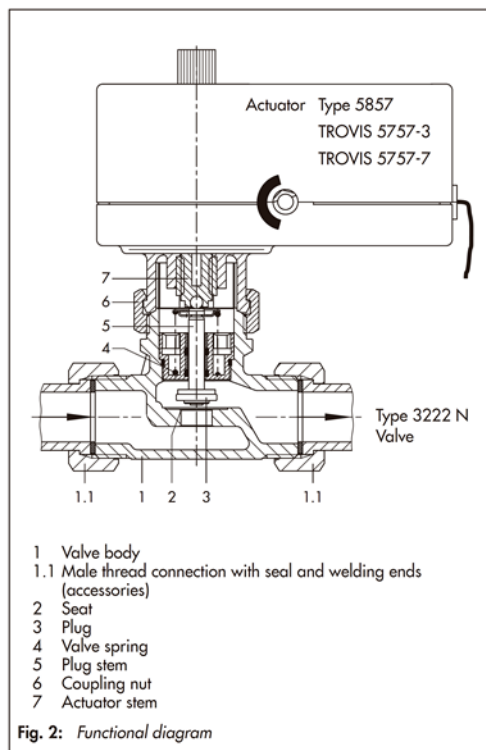
- Kvs coefficient: ...
- Type of sealing: □ metal seal, □ soft seal
- Version: □ for treated water, □ for non-flammable gases

Further specifications on the electric actuator

- Control: □ three-step signal, □ positioner

Accessories

- Type of connection: □ threaded ends G 1/2, □ welding ends, □ soldering ends
- Intermediate insulating piece (1990-1712) □ yes, □ no



ANEXO I.

CATALOGO INSTRUMENTOS GAS DE SÍNTESIS

product news

ifm electronic



Mechatronic flow sensor for high temperatures.



Measurement of liquids up to 180 °C.

- For flow ranges of 0.3...25 l/min.
- Analogue output signal 4...20 mA.
- Simple and robust.
- Fast response time $\leq 10\text{ms}$.
- Pressure ranges up to 15 bar.



Mechatronic flow sensor

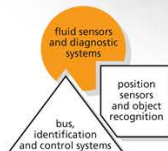
The flow sensor works to the principle of spring-supported piston: the piston, located in the valve seat in the housing, is lifted by the flowing medium against the spring resistance. The piston position is monitored via a magnetic-field sensor and is output as an analogue signal.

The spring resistance forces the piston to return to its original position with decreasing flow. This ensures position-independent installation of the flow sensor preventing backflow.

Due to the temperature decoupling of the transducer from the electronics, this sensor is especially suitable for media in high temperature applications of up to 180 °C. The units are maintenance-free.



Process cooling in an induction furnace.

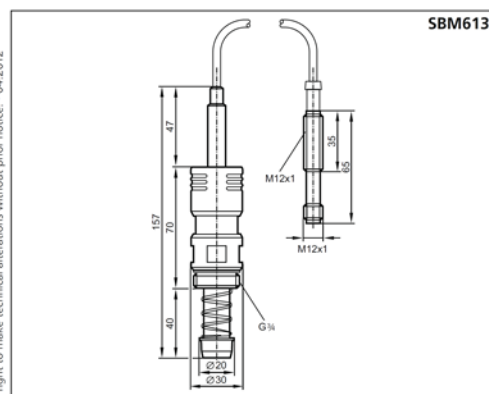
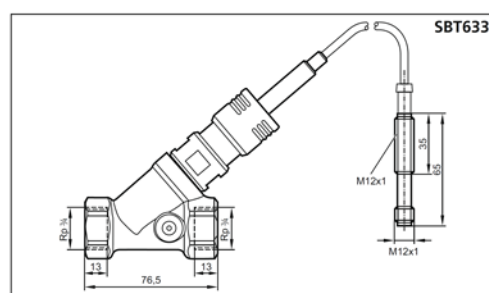


Applications:
Liquids (water, glycol solutions).

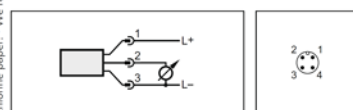
Process connection	Medium temperature [°C]	Measuring range [l/min]	Accuracy [% of the final value]	Pressure resistance [bar]	Protection rating, protection class	Order no.
Connection cable 0.3 m with M12 connector - analogue function mode 4...20 mA						
Rp 3/4	20...180	0.3...25	± 5	15	IP 67, III	SBT633
G 3/4	20...180	0.3...25	± 5	15	IP 67, III	SBM613*

* Only measuring insert for OEM solutions, no replacement part.

Dimensions

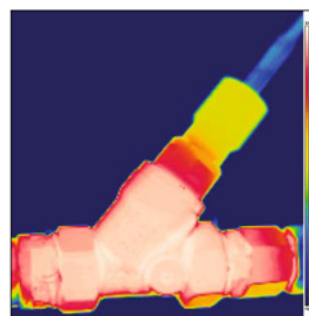


Wiring



Common technical data

Type SBT, SBM	
Operating voltage	[V] 24 DC (-15 % / + 10 %)
Current consumption	[mA] < 30
Short-circuit protection	•
Reverse polarity / overload protection	• / •
Response time	[s] < 0.01
Ambient temperature	[°C] 0...60
Materials in contact with the medium	stainless steel 304/1.4301; nickel-plated brass; PPS; O-ring: FPM



Thermographic diagram of an SBT type flow sensor.

Type: E1104ES
Electric actuator direct mounted



Main J3CS Smart electric actuator features:

- LED light for continual visual actuator status feedback.
- Fully weatherproof smart industrial actuator.
- Multi-voltage 24-240V capable actuator.
- All external electrical connections, no need to remove cover .
- Selectable manual override facility.
- Thermostatic anti-condensation heater.
- Electronic torque limiter.
- End of travel switches for remote open/ closed indication.
- CE Marked
- EU manufactured by J+J

Applications:

Water, oil, air and most non-corrosive media, subject to compatibility with wetted parts in contact with media. Not for use on potable water & NOT recommended for use on steam.

Valve actuators sized on a maximum differential pressure of 10 bar wet service, operated at least once per day. If the intended duty differs from these parameters, or is dry (air or gas), please call to check actuator sizing as a larger output valve actuator may be required.

Maximum working temperature of a direct mounted assembly is +70C. For higher working temperatures , consider models that have a mounting kit or TSM stem extension between the valve and the smart electric valve actuator which uses air cooling to dissipate the rising heat from the ball valve away from the actuator. Should the J3CS smart actuator see more than +70C it will malfunction.

Typical Kv Values

Size	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
Kv	16.3	29.5	43	89	230	265	540	873

Specifications:

Actuator housing	UV Protected Polyamide
Supply voltage range	25-240V AC or DC
IP Rating	IP67
Actuator temp limits	-20 to +70°C
Assembly temp limits	E1104ES +70°C Direct mounted
	E1114ES +120°C Mounted via kit
	E1124ES +100C Mounted via ext'n
Valve body	Nickel plated brass
Valve ball	Chrome plated brass
Valve seats	PTFE
Valve Pressure rating	UT1 1" 40 bar at ambient temp
	To 2 1/2" 30 bar at ambient temp
	3" 25 bar at ambient temp
Valve temp limits	-20 to +120°C
Size range	1/4" to 3"

Ball valve information:

Full bore 2 piece construction, providing full unrestricted flow and a very low pressure drop across the valve. Designed for automation with integrally cast ISO5211 actuator mounting platform. Turning the ball through 90° fully opens the valve, turning back through 90° fully closes the valve and isolates the flow. End connections are threaded BSP female.

Kv = m³ per hour with a 1 bar pressure drop across the valve
CV = US gallons per hour with a 1psi pressure drop across the valve
Cv = Kv / 0.86

J3CS FAILSAFE ELECTRIC ACTUATOR

Power open, power close, fails to pre-set position on loss of external power. Typically fails closed, but can be set to fail open. The BSR Failsafe conversion kit is pre-installed by J+J.

How this electric 1/4 turn valve works (on-off):

Electrically operated valves are driven by a motor and gearbox. On receipt of a continuous voltage signal the motor runs and, via a gearbox in the J+J smart electric actuator, rotates the valve stem. The motor stops at the desired position (usually 0° or 90°) by internal cams striking micro-switches. The smart valve actuator remains in this position, with the voltage still applied continuously, until switched and a continuous voltage reversing signal is applied, which runs the motor in the opposite direction, reversing the rotation until separate set of internal cams strike separate set of micro-switches.

Options:

It is possible to change the J3CS actuator's function by installing user friendly plug and play function conversion kits. These will provide the following alternative functions:

Failsafe Modulating J3CS Actuator

Movement of the J3CS actuator is proportional to an input control signal, typically 4-20mA or 0-10V, but by installing our DPS (Digital Positioning System) user friendly plug and play kit, it will fail to the desired pre-set position on loss of external power. There are also options for how the J3CS modulating reacts to loss of the control signal as follows:

Configuration options:

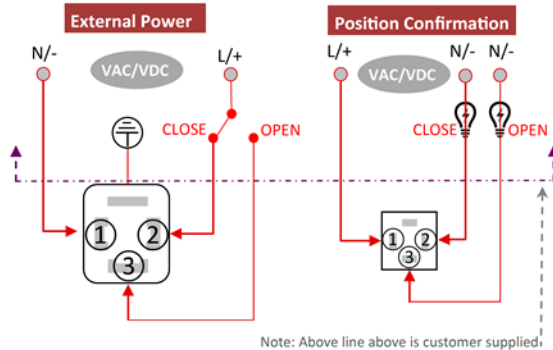
- 1) Closes on loss of control signal, or on loss of power
- 2) Opens on loss of control signal, or on loss of power
- 3) Stays put on loss of control signal



DPS Modulating plug & play kit can be installed with the BSR failsafe kit to create failsafe modulating function.

Electrical Connection - Wiring of DIN Plugs

J3CS FAILSAFE WIRING



In J+J electric actuators all electrical connections are made externally using the external DIN plugs supplied with the actuator. There is no need to remove the valve actuator's cover to connect electrically. There are no terminals internally to connect to.

Pre-installed Plug & Play Function Conversion Kit:



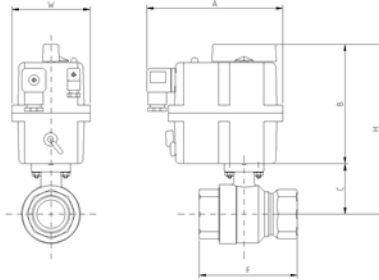
BSR Failsafe plug & play kit (already installed by J+J in the failsafe version)

How the BSR (Battery 'Spring Return') system works:

The user friendly BSR failsafe function plug and play conversion kit adds an industrial NiCad rechargeable battery and PCB to the standard power open, power close J3CS actuator. The electric actuator continues to operate power open, power close, and whilst doing so, the battery is constantly trickle charged to keep it fully charged.

When external power is lost, a switch in the BSR PCB draws internal power from the battery to send the J3CS to the desired pre-set 'safe' position, if not already in that position.

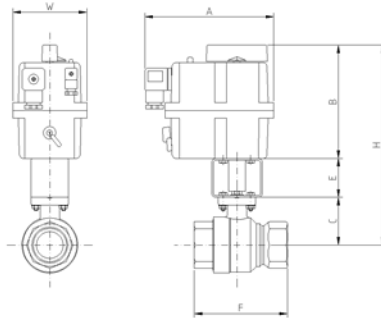
Type: **E1104ES** Actuator direct mounted to valve



Typical Dimensions:

E1104ES Dimensions remain unchanged for all versions							
- On-off, failsafe, modulating and failsafe modulating							
	Model	A	F	H	W	Kilos	
≤1/2"	20	177	65	178	110	1.9	
3/4"	20	177	75	181	110	1.9	
1"	20	177	86	185	110	2.2	
1 1/4"	20	177	95	190	110	2.6	
1 1/2"	20	177	101	206	110	3.2	
2"	20	177	121	213	110	4.2	
2 1/2"	35	177	165	220	110	5.8	
3"	35	177	188	271	110	7.9	

Type: **E1114ES** Actuator fitted to valve via a bracket and drive adapter



E1114ES Dimensions remain unchanged for all versions							
- on-off, failsafe, modulating & failsafe modulating							
	Model	A	E	F	H	W	Kilos
≤1/2"	20	177	50	65	228	110	2.1
3/4"	20	177	50	75	231	110	2.1
1"	20	177	50	86	235	110	2.4
1 1/4"	20	177	50	95	240	110	2.8
1 1/2"	20	177	50	101	256	110	3.4
2"	20	177	50	121	263	110	4.4
2 1/2"	35	177	50	165	270	110	6.0
3"	35	177	50	188	321	110	8.1

Type: **E1124ES** Actuator fitted to valve via a TSM stem extension

Call for details

E1124ES Dimensions remain unchanged for all versions							
- on-off, failsafe, modulating & failsafe modulating							
	Model	A	E	F	H	W	Kilos
≤1/2"	20	177		65		110	
3/4"	20	177		75		110	
1"	20	177		86		110	
1 1/4"	20	177		95		110	
1 1/2"	20	177		101		110	
2"	20	177		121		110	
2 1/2"	35	177		165		110	
3"	35	177		188		110	



PG4 Series

DIRECT, LOCAL READINGS



Description

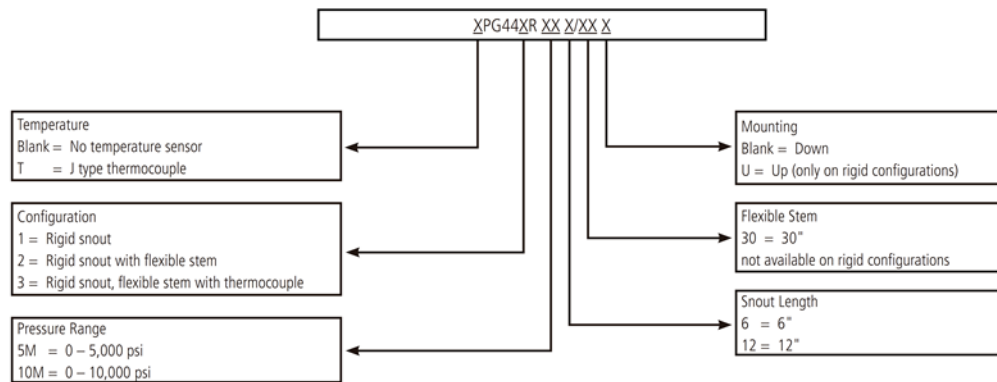
Dynisco's family of mechanical pressure gauges are the ideal choice for applications requiring simple maintenance free pressure indication. Polymer pressure is sensed by a metal diaphragm, mounted flush with the inside surface of the extruder barrel with pressure indicated on the readout gauge. The sealed diaphragm design eliminates the need for grease and prevents melt contamination and gauge plugging. On the rigid snout version the mechanical gauge can be rotated 300° for unobstructed viewing. For applications involving high temperatures or restricted spaces gauges with flexible stems are available so to mount the gauge farther away from the process. Thermocouple or RTD configurations are available to provide melt temperature.

Features

- Direct, local readings
- Mechanical design
- Step-up and stem-down versions
- Gauge head rotates 300°
- 0 - 5,000 or 0 -10,000 psi
- Stainless steel construction

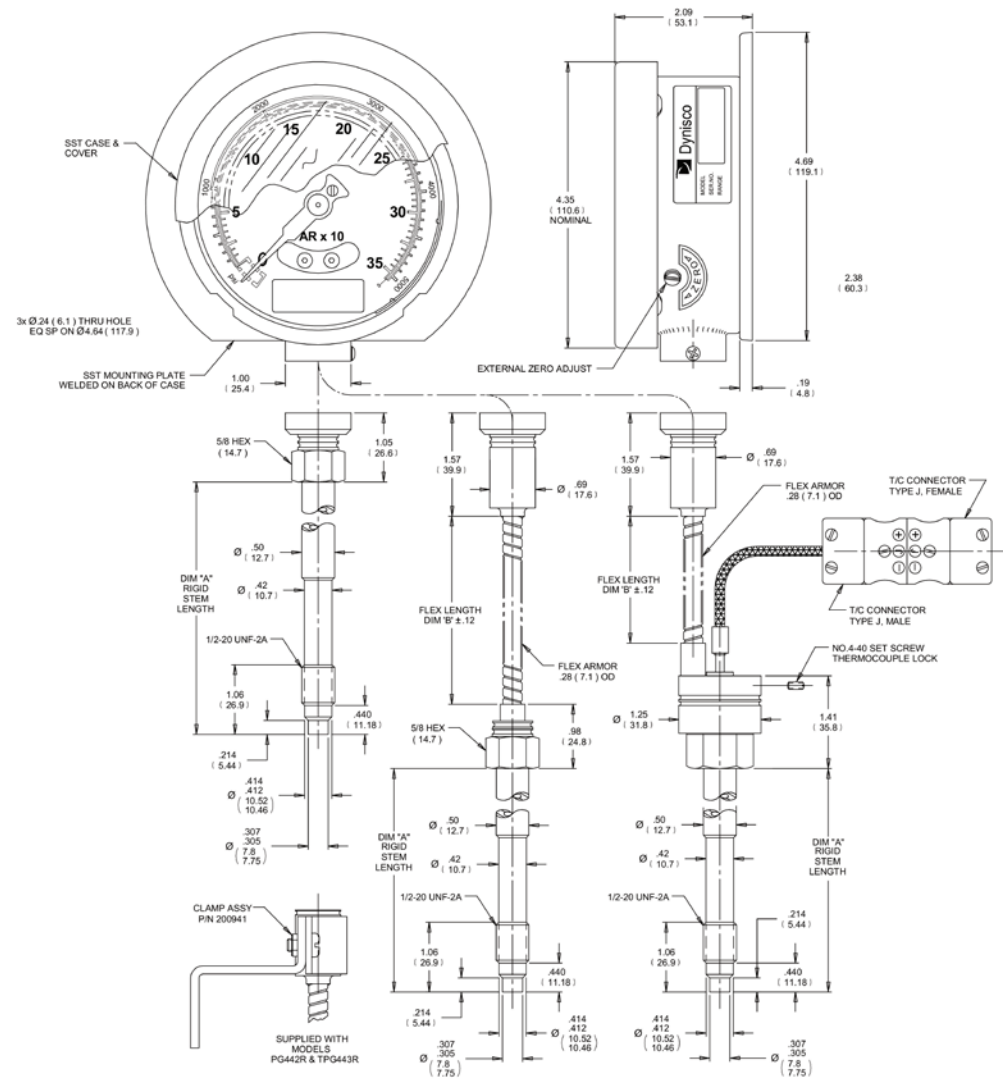
Performance Characteristics	
Combined Error:	+/- 2% FS
Zero Adjustability:	7.5% FS
Maximum Pressure:	1.5 X FS
Needle Sweep:	270°
Thermocouple:	Type J (Standard)
Temperature & Mechanical Characteristics	
Max Diaphragm Temperature:	750°F (400°C)
Maximum Case Temperature:	275°F (135°C)
Case Material:	Stainless Steel with Safety Glass
Mounting Torque:	500 inch/lbs. maximum
Weight:	2-3 lbs. depending on configuration
Standard Wetted Parts:	TiN coated 15-5 PH SST

Ordering Guide for PG4 Series



For other configurations, specials and options not listed please consult factory.

Dimensions



ANEXO J.

CATALOGO TARJETAS NI

Last Revised: 2015-01-26 09:11:30.0

NI 9201

±10 V, Analog Input, 500 kS/s, 8 Ch Module



- 8 single-ended channels, 500 kS/s sample rate
- ±10 V measurement range, 12-bit resolution
- 250 Vrms channel-earth, CAT II (screw terminal), or 60 VDC channel-earth, CAT I (D-SUB) isolation
- 10-position screw-terminal or 25-pin D-SUB connectors available
- -40 °C to 70 °C operating, 5 g vibration, 50 g shock

Overview

The NI 9201 is a C Series module for 8-channel analog input at a maximum aggregate rate of 500 kS/s. It offers an effective combination of channel count and speed at a low price for an economical multifunction system.

As with most C Series modules, the NI 9201 is protected from harmful voltage spikes of up to 2,300 Vrms. This means that no harmful voltage within the isolation rating can harm other modules in the system, the chassis, or any connected computer equipment. In addition to the absolute protection from the isolation, the module provides up to 100 V of overvoltage protection for errant signal connection or unexpected outputs to the individual channels.

You can choose from two connector options for the NI 9201: a 10-position screw-terminal connector for direct connectivity and a 25-position D-SUB connector. The industry-standard 25-position D-SUB connector provides low-cost cabling to a wide variety of accessories from NI or other vendors. Several vendors also offer custom D-SUB cable fabrication services, and can provide cables with a pinout that matches your exact application needs.

Recommended Accessories

- NI 9927 strain relief and operator protection (for screw-terminal variant)
- NI 9924 front-mount 25-pin D-SUB to screw-terminal connector (for D-SUB variant)

Optional Accessories

- NI 9936 extra screw-terminal block (for screw-terminal variant)
- NI 9980 spring-terminal block (for screw-terminal variant)

Note: The NI 9980 is not compatible with the NI 9927 and must be used with low- or non-hazardous voltages or installed in a properly rated enclosure.

Box Contents

- 1 NI 9201 C Series module
- 1 NI 9201 Operating Instructions and Specifications manual
- 1 NI 9936 10-position screw-terminal connector (for screw-terminal variant) network conditions (This is 50 channels from NI 9220 modules running at 100 kS/s per channel.)

NI CompactRIO Streaming Performance

The NI cRIO-9082 system and MXI-Express reconfigurable I/O (RIO) expansion chassis have the largest throughput available and are the recommended solutions for high-speed streaming to disk applications within the CompactRIO family. All CompactRIO chassis have a built-in FPGA that is programmable with NI LabVIEW and can be used to process or filter data before it is transferred to the host controller. Note that communication with the host controller is not a requirement for high-speed control systems because the control logic can often be fully implemented in the FPGA using LabVIEW.

-An NI cRIO-9081/9082 can stream to disk a full chassis of NI 9220 modules running at the maximum 100 kS/s per channel rate.

-MXI-Express expansion chassis have a throughput of approximately 200 MB/s, so 1,000 channels of NI 9220 data can stream over a single connection. This connection can be a daisy chain of multiple chassis that is connected to an NI cRIO-9082 or a PXI Express chassis for maximum streaming performance.

-The NI cRIO-9022 embedded real-time controller can stream a little more than 6 MB/s to disk. For direct streaming applications, this chassis can store approximately 30 NI 9220 channels running at the maximum sample rate.

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Product Name	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Resolution	Isolation	Connectivity
NI 9201	±10 V	8 single-ended	500 kS/s	No	12-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Screw Terminal), 60 VDC Ch-Earth (D-SUB)	Screw Terminal, 25-Pin D-SUB
NI 9205	±200 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V	32 single-ended, 16 differential	250 kS/s	No	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Spring Terminal), 60 VDC Ch-Earth (D-SUB)	Spring Terminal, 37-Pin D-SUB
NI 9206	±200 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V	33 single-ended, 16 differential	250 kS/s	No	16-Bit	600 VDC Ch-Earth	Spring Terminal
NI 9215	±10 V	4 differential	100 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Screw Terminal), 60 VDC Ch-Earth (BNC)	Screw Terminal, BNC
NI 9220	±10 V	16 differential	100 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Spring Terminal), 60 VDC Ch-Earth (D-SUB)	Spring Terminal, 37-Pin D-SUB
NI 9221	±60 V	8 single-ended	800 kS/s	No	12-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Screw Terminal), 60 VDC Ch-Earth (D-SUB)	Screw-Terminal, 25-Pin D-SUB
NI 9222	±10 V	4 differential	500 kS/s/ch	Yes	16-Bit	60 VDC Ch-Ch	Screw Terminal
NI 9223	±10 V	4 differential	1 MS/s/ch	Yes	16-Bit	60 VDC Ch-Ch	Screw Terminal
NI 9229	±60 V	4 differential	50 kS/s/ch	Yes	24-Bit	250 Vrms Ch-Ch (Screw Terminal), 60 VDC Ch-Ch (BNC)	Screw Terminal, BNC
NI 9239	±10 V	4 differential	50 kS/s/ch	Yes	24-Bit	250 Vrms Ch-Ch (Screw Terminal), 60 VDC Ch-Ch (BNC)	Screw Terminal, BNC

[Back to Top](#)

Application and Technology

NI C Series Overview



NI C Series modules are engineered to provide high-accuracy measurements to meet the demands of advanced DAQ and control applications. Each module contains measurement-specific signal conditioning to connect to an array of sensors and signals, bank and channel-to-channel isolation options, and support for wide temperature ranges to meet a variety of application and environmental needs all in a single rugged package. You can choose from more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication to connect your applications to any sensor on any bus.

Most C Series I/O modules work with the NI CompactDAQ and NI CompactRIO platforms. The modules are identical, and you can move them from one platform to the other with no modification.

NI CompactRIO Platform



Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit nit.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted. The specifications are the same for the NI 9201 and the NI 9221 unless otherwise noted.

Input Characteristics

Number of channels

8 analog input channels

ADC resolution	12 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)

Sample rate (aggregate)		
Module	Maximum Sample Rate (R Series Expansion Chassis)	Maximum Sample Rate (All Other Chassis)
NI 9201, single channel	475 kS/s	800 kS/s
NI 9201, scanning	475 kS/s	500 kS/s
NI 9221	475 kS/s	800 kS/s

Input range	
NI 9201	±10 V
NI 9221	±60 V

Operating voltage ranges ¹					
Module	Measurement Voltage, Channel-to-COM			Maximum Voltage, Channel-to-Earth Ground or COM-to-Earth Ground	
	Min (V)	Typ (V)	Max (V)	Screw Terminal	DSUB
NI 9201	±10.3	±10.53	±10.8	250 V _{rms}	±60 VDC
NI 9221	±61.4	±62.50	±63.8		

Overvoltage protection (channel-to-COM)	±100 V
---	--------

NI 9201 accuracy (excludes noise)		
Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range* (Offset Error)
Calibrated typ (25 °C, ±5 °C)	±0.04%	±0.07%
Calibrated max (–40 to 70 °C)	±0.25%	±0.25%
Uncalibrated typ (25 °C, ±5 °C)	±0.26%	±0.46%
Uncalibrated max (–40 to 70 °C)	±0.67%	±1.25%
* Range equals 10.53 V		

NI 9221 accuracy (excludes noise)		
Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range* (Offset Error)
Calibrated typ (25 °C, ±5 °C)	±0.04%	±0.07%
Calibrated max (–40 to 70 °C)	±0.25%	±0.25%
Uncalibrated typ (25 °C, ±5 °C)	±0.26%	±0.43%
Uncalibrated max (–40 to 70 °C)	±0.67%	±1.06%
* Range equals 62.50 V		

Stability	
Gain drift	±34 ppm/°C
Offset drift	
NI 9201	±100 µV/°C
NI 9221	±580 µV/°C
Input bandwidth (–3 dB)	
NI 9201	690 kHz min
NI 9221	950 kHz min
Input impedance	

Resistance	1 M Ω
Capacitance	5 pF
Input noise (code-centered)	
RMS	0.7 LSB _{rms}
Peak-to-peak	5 LSB
No missing codes	12 bits
DNL	–0.9 to 1.5 LSB
INL	±1.5 LSB
Crosstalk (at 10 kHz)	–75 dB
Settling time (to 1 LSB)	
NI 9201	2 μ s
NI 9221	1.25 μ s
MTBF	1,092,512 hours at 25 °C; Belcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

 **Note** Contact NI for Belcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications.

Power Requirements

Power consumption from chassis

Active mode	1 W max
Sleep mode	1 mW max
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1 W max
Sleep mode	32 mW max

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

 **Note** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring	12 to 24 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals	0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)
Ferrules	0.25 mm ² to 2.5 mm ²
Weight	
NI 9201/9221 with screw terminal	150 g (5.3 oz)
NI 9201/9221 with DSUB	145 g (5.1 oz)


Safety

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.






Channel-to-COM	±60 VDC max
NI 9201/9221 with Screw Terminal Isolation Voltages	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 V _{rms} , Measurement Category II
Withstand	2,300 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.

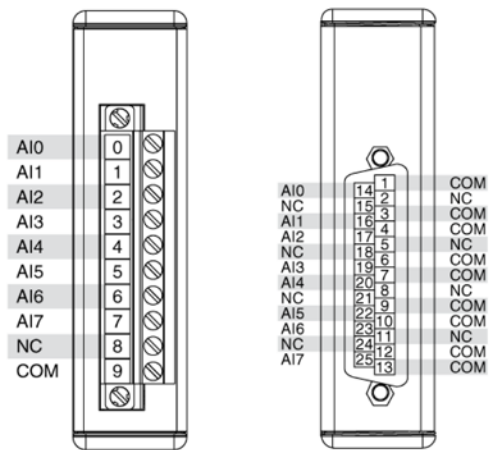
 **Caution** Do not connect the NI 9201/9221 with screw terminal to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

NI 9201/9221 with DSUB Isolation Voltages

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I

Withstand	1,000 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test
Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.	
 Caution Do not connect the NI 9201/9221 with DSUB to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.	
Hazardous Locations	
U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nC IIC T4
Europe (DEMKO)	EEx nC IIC T4
Safety Standards	
This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:	
<ul style="list-style-type: none"> • IEC 61010-1, EN 61010-1 • UL 61010-1, CSA 61010-1 	
 Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the <i>Online Product Certification</i> section.	
Electromagnetic Compatibility	
This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:	
<ul style="list-style-type: none"> • EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity • EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions • AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions • FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions • ICES-001: Class A emissions 	
 Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the <i>Online Product Certification</i> section.	
 Note For EMC compliance, operate this device with double-shielded cables.	
CE Compliance	
This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:	
<ul style="list-style-type: none"> • 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety) • 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC) 	
 Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the <i>Online Product Certification</i> section.	
Online Product Certification	
Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification , search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.	
Shock and Vibration	
To meet these specifications, you must panel mount the system. If you are using the NI 9201/9221 with screw terminal, you also must either affix ferrules to the ends of the terminal wires or use the NI 9932 backshell kit to protect the connections.	
Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations
Environmental	
National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.	
Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	–40 to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	–40 to 85 °C
Ingress protection	IP 40
Operating humidity (IEC 60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree	2
Environmental Management	

Pinouts/Front Panel Connections



NI 9201/9221 Terminal and Pin Assignments

[Back to Top](#)

©2014 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, and NI CompactDAQ are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Last Revised: 2014-11-06 07:14:40.0

NI 9263
±10 V, Analog Output, 100 kS/s, 4 Ch Module



- 4 channels, 100 kS/s per channel simultaneous analog output
- ±10 V output range, 16-bit resolution
- NIST-traceable calibration
- 250 Vrms, CAT II isolation
- 10-position screw-terminal or 10-position spring-terminal connectors available
- -40 °C to 70 °C operating range, 5 g vibration, 50 g shock

Overview

High-performance analog output modules for NI CompactRIO embedded systems, R Series expansion chassis, and NI CompactDAQ hardware provide accurate signal generations. Each module incorporates built-in signal conditioning and an integrated connector with screw-terminal or cable options for flexible and low-cost signal wiring. All modules feature the NI CompactRIO Extreme Industrial Certifications and Ratings.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

- Real-Time OS
- Windows

Driver Information

- NI-DAQmx
- NI-RIO

Software Compatibility

- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- SignalExpress
- Visual C++
- Visual Studio
- Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Product Name	Module Type	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Resolution	Isolation	Connectivity
NI 9263	Voltage Output	+/-10 V	4	100 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth	Screw-Terminal
NI 9264	Voltage Output	+/-10 V	16	25 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth (Spring Terminal), 60 VDC Ch-Earth (D-Sub)	Spring-Terminal, 37-Pin D-Sub
NI 9265	Current Output	0 to 20 mA	4	100 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Earth	Screw-Terminal
NI 9269	Voltage Output	+/-10 V	4	100 kS/s/ch	Yes	16-Bit	250 Vrms Ch-Ch	Screw-Terminal

[Back to Top](#)

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on [ni.com](#).

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
No accessories required.			

[Back to Top](#)

Software Recommendations

LabVIEW Professional Development System for Windows



- Advanced software tools for large project development
- Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Tight integration with a wide range of hardware
- Advanced measurement analysis and digital signal processing
- Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](#) to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](#).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit [ni.com/support](#) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](#) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit [community.ni.com](#) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](#).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

Output Characteristics	
Number of channels	4 analog output channels
DAC resolution	16 bits
Type of DAC	String
Power-on output state	Channels off
Startup/power-down voltage	0 V
Output voltage range	
Nominal	±10 V
Minimum	±10.3 V
Typical	±10.7 V
Maximum	±11 V
Current drive	±1 mA per channel max
Output impedance	0.1 Ω

Accuracy		
Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range ¹ (Offset Error)
Calibrated, max (-40 to 70 °C)	0.35%	0.75%
Calibrated, typ (25 °C, ±5 °C)	0.01%	0.1%
Uncalibrated, max (-40 to 70 °C)	2.2%	1.7%
Uncalibrated, typ (25 °C, ±5 °C)	0.3%	0.25%

Stability	
Gain drift	6 ppm/°C
Offset drift	80 µV/°C
Protection	
Overvoltage	±30 V
Short-circuit	Indefinitely

Update time		
Number of Channels	Update Time for cRIO-9151 R Series Expansion Chassis	Update Time for All Other Chassis
1	3.5 µs	3 µs
2	6.5 µs	5 µs

Update time		
Number of Channels	Update Time for cRIO-9151 R Series Expansion Chassis	Update Time for All Other Chassis
3	9 μ s	7.5 μ s
4	12 μ s	9.5 μ s


Noise	260 μ V _{rms}
Slew rate	4 V/ μ s
Crosstalk	76 dB
Settling time (100 pF load, to 1 LSB)	
Full-scale step	20 μ s
3 V step	10 μ s
0.1 V step	8 μ s
Glitch energy (256 steps, worst case)	2 mV for 2 μ s
Capacitive drive	1,500 pF min
Monotonicity	16 bits
DNL	–1 to 2 LSBs max
INL (endpoint)	16 LSBs max
MTBF	1,732,619 hours at 25 °C; Belcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

 **Note** Contact NI for Belcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications.

Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	625 mW max
Sleep mode	25 μ W max
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	625 mW max
Sleep mode	25 μ W max

Physical Characteristics

 **Note** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring	12 to 24 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals	0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)
Ferrules	0.25 mm ² to 2.5 mm ²
Weight	150 g (5.3 oz)

Safety


If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Isolation	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 V _{rms} , Measurement Category II
Withstand	2,300 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet (e.g., 115 V for U.S. or 230 V for Europe). Examples of Measurement Category II are measurements performed on household appliances, portable tools, and similar products.

 **Caution** Do not connect the NI 9263 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (DEMKO)	Ex nA IIC T4

Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial Immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.



Note For EMC compliance, operate this device with shielded cables.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)



Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system and either affix ferrules to the ends of the terminal wires or use the NI 9932 backshell kit to protect the connections.

Operating vibration

Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations

Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	–40 to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	–40 to 85 °C
Ingress protection	IP 40
Operating humidity (IEC 60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree (IEC 60664)	2

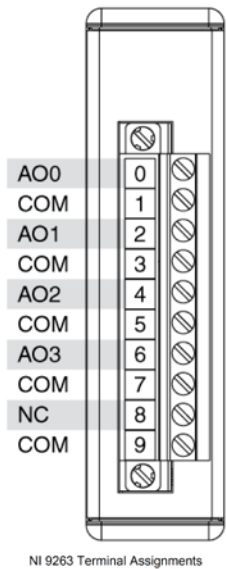
Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Pinouts/Front Panel Connections



[Back to Top](#)

©2014 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, CVI, FieldPoint, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI CompactDAQ, NI-DAQ, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

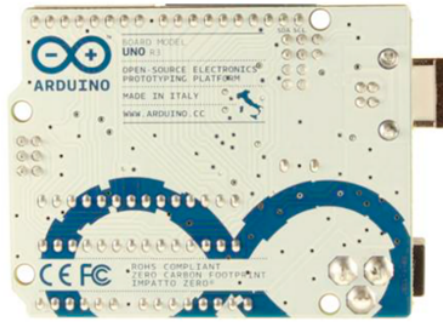
ANEXO K.

CATALOGO TARJETA ARDUINO

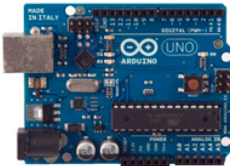
Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



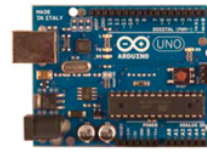
Arduino Uno R3 Back



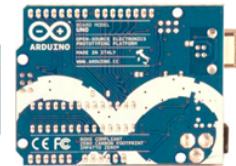
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

ANEXO L.

MANUAL DE USUARIO

PASOS INICIALES

La aplicación con los archivos necesarios para el funcionamiento del programa está contenida dentro de la carpeta “monitoreo y control”, mostrada en la Figura 1.

Figura 79. Carpeta de programa



Dentro de la carpeta mencionada anteriormente, se encuentra el archivo .vi, que se ejecuta con el software de instrumentación virtual LabVIEW, Figura 2.

Figura 80. Archivo del programa en .vi

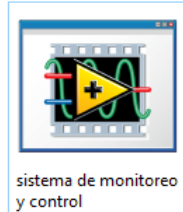


Sin embargo, si no se dispone del software de instrumentación LabVIEW, se encuentra la opción para abrirlo como un ejecutable, dentro de la carpeta “ejecutable” que se encuentra también en la carpeta de monitoreo y control, allí se puede abrir el archivo .exe con el nombre de sistema de monitoreo y control, Figura 3 y Figura 4.

Figura 81. Carpeta del ejecutable



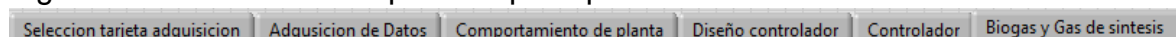
Figura 82. Archivo del ejecutable



A continuación se procede a describir y explicar el correcto uso del programa de control y monitoreo de gas de síntesis y biogás en la alimentación de un motor de combustión interna. Para el cual se organizó una interfaz de usuario intuitiva y de fácil manejo, con el fin de cumplir con el correcto manejo del sistema al momento de que sea implementado con los correspondientes equipos e instrumentos involucrados.

El orden en el cual se debe usar cada panel es el que se ve de izquierda a derecha, aunque el panel principal es el de “Biogás y gas de síntesis”, los demás paneles se deben configurar previamente en el mismo orden en que aparecen para tener buenos resultados, Figura 5.

Figura 83. Vínculos de los paneles principales



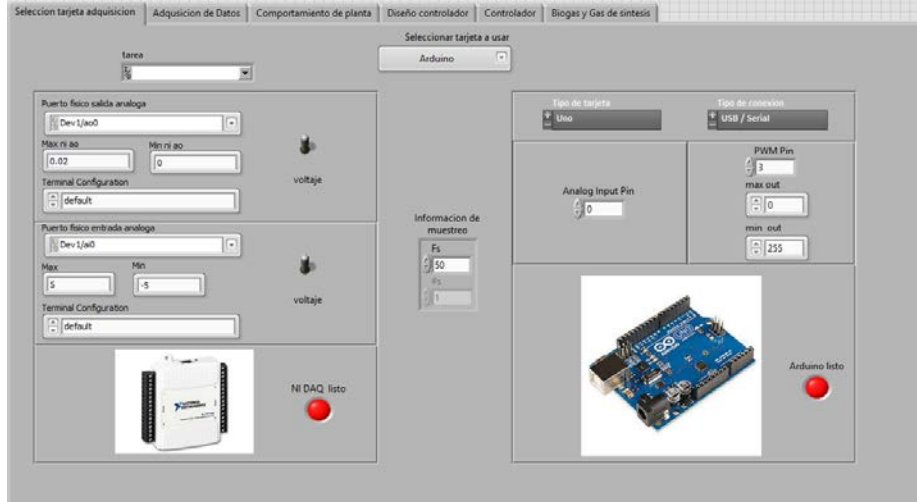
CONFIGURACIÓN TARJETAS DE ADQUISICIÓN

La configuración de las tarjetas debe hacerse por personal que posee conocimiento para conectarlas y configurarlas para que sean reconocidas en cualquier ordenador. El hecho de que el software contenga un panel de configuración de las tarjetas de adquisición no exime que se deben tener los drivers de estas tarjetas instalados previamente.

Para el driver de arduino se puede descargar gratuitamente en la página oficial con su explicación para que sea reconocido en labview. Para el driver de la tarjeta de national instruments lo proporciona el fabricante en un CD o en caso que no se posea el CD se puede buscar y descargar gratuitamente en la página oficial de national instruments, con la referencia de la tarjeta.

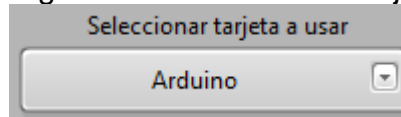
Después de configurar las tarjetas para que sean reconocidas en el computador, se debe configurar para que lean los puertos asignados. Para esto se dispone de un panel llamado “Selección tarjeta de adquisición” cada tarjeta posee un indicador que al estar de color rojo avisa que la tarjeta aun no se encuentra lista para usar, si este indicador se torna verde, quiere decir que la ya se encuentra lista la tarjeta, Figura 6.

Figura 84. Panel de selección de tarjeta de adquisición.



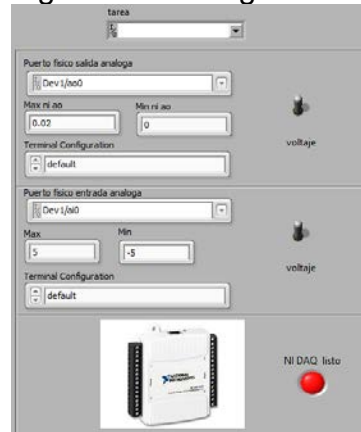
La opción “Seleccionar tarjeta a usar” permite alternar entre la tarjeta arduino y la tarjeta de national instruments, Figura 7.

Figura 85. Selección de tarjeta a usar.



Para la tarjeta de national instruments, se puede seleccionar el puerto físico de salida de señal análoga, con los valores máximo y mínimo, teniendo en cuenta la capacidad de la tarjeta, en la opción de configuración de terminal se debe seleccionar dependiendo de las condiciones de los instrumentos y elementos primarios de control, estas mismas opciones aplican para el puerto físico de entrada de señal análoga, Figura 8.

Figura 86. Configuración de tarjeta de NI



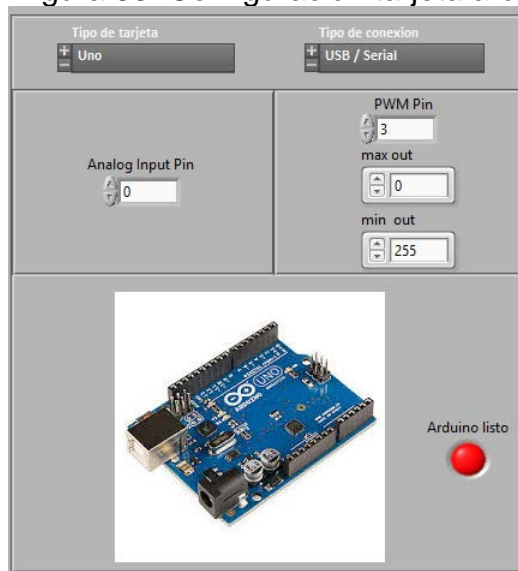
Dado que no todos los instrumentos envían señales de voltaje, se tiene la opción de alternar para leer corriente o voltaje dependiendo del instrumento o elemento primario, Figura 9.

Figura 87. Botón corriente/voltaje



Para la tarjeta arduino, la opción tipo de tarjeta permite cambiar a los múltiples tipos de tarjeta que dispone arduino, una con características más robustas que otras. El tipo de conexión también está disponible dado a la gran variedad de tarjetas que se encuentran en el mercado, estas pueden tener diferentes conexiones al ordenador la más común es por USB pero se recomienda establecer la conexión que la tarjeta arduino posea, Figura 10.

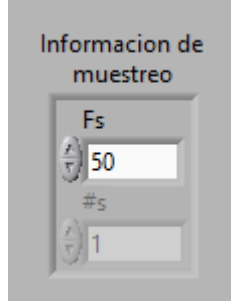
Figura 88. Configuración tarjeta arduino



Para la entrada y salida de señales en el arduino, se puede establecer el pin de entrada analógico y el pin de PWM (modulación por ancho de pulso) que cumple la tarea de generar una señal de voltaje DC, con la posibilidad de establecer los rangos de PWM, donde para la tarjeta arduino uno el máximo valor posible es 255.

El apartado de información de muestreo permite configurar la frecuencia de muestreo de la tarjeta que puede variar dependiendo del tipo de tarjeta o del ordenador y la velocidad en la cual procesa los datos, entre mejores sean estas características más alta puede ser esta frecuencia, Figura 11.

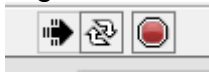
Figura 89. Configuración muestreo.



BOTONES DE INICIO

Para poder dar inicio a los algoritmos programados dentro del sistema de monitoreo y control, se disponen de tres botones ubicados en la parte superior, el primero de derecha a izquierda ejecuta el programa normalmente y automáticamente comienza a leer y buscar las tarjetas de adquisición que se encuentren disponibles en ese momento, por consiguiente es necesario antes de ejecutar este botón configurar el panel de tarjetas de adquisición, Figura 12.

Figura 90. Botones de inicio.



La función de el segundo botón es también ejecutar continuamente el programa, aunque funciona de manera parecida a el primer botón, no es relevante su uso, ya que el programa está configurado para que funcione de manera continua dentro de ciclos for loop, que permite su ejecución continua donde solo se detendrá si en el manejo del software se encuentra algún error debido a una mala configuración o manejo, característica que no se obtiene con el segundo botón, pero se encuentra ahí para facilitar la ejecución continua de funciones que no están programadas dentro de ciclos.

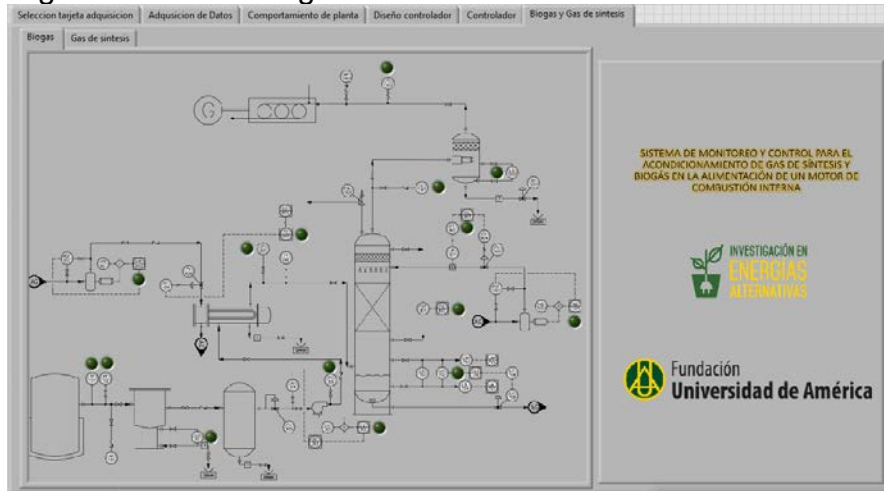
La función del tercer botón está en detener instantáneamente todos los procesos que se estén ejecutando, esto con el fin de desconectar el sistema de adquisición, si hay algún fallo en la lectura de las tarjetas o algún problema con el ordenador, como primera opción para solucionar estos posibles problemas, se recomienda usar este botón.

PANEL BIOGÁS Y GAS DE SÍNTESIS

Al ejecutar el programa se encuentra como panel principal los diagramas de flujo de los procesos tanto para el biogás como para el gas de síntesis. En este panel llamado “Biogás y gas de síntesis”, el operario tendrá la opción de seleccionar la etapa que se desea monitorear y/o controlar.

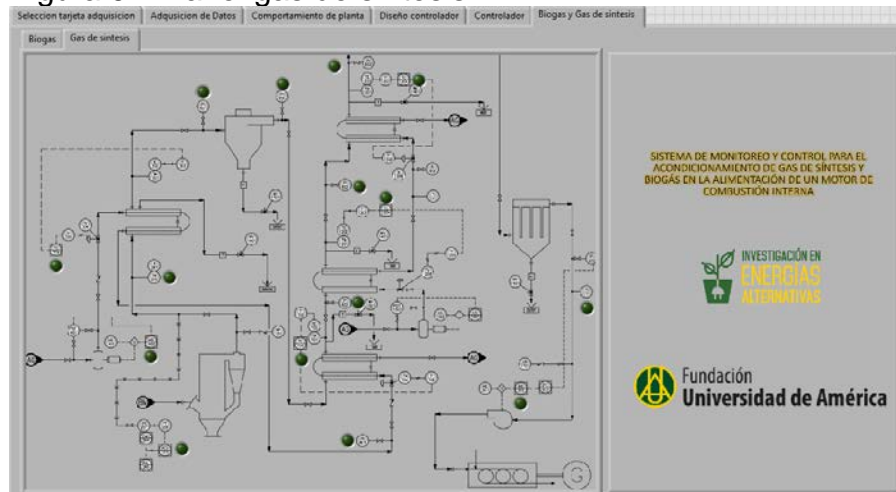
Panel diagrama de flujo proceso de limpieza y acondicionamiento biogás, Figura 13.

Figura 91. Panel biogás



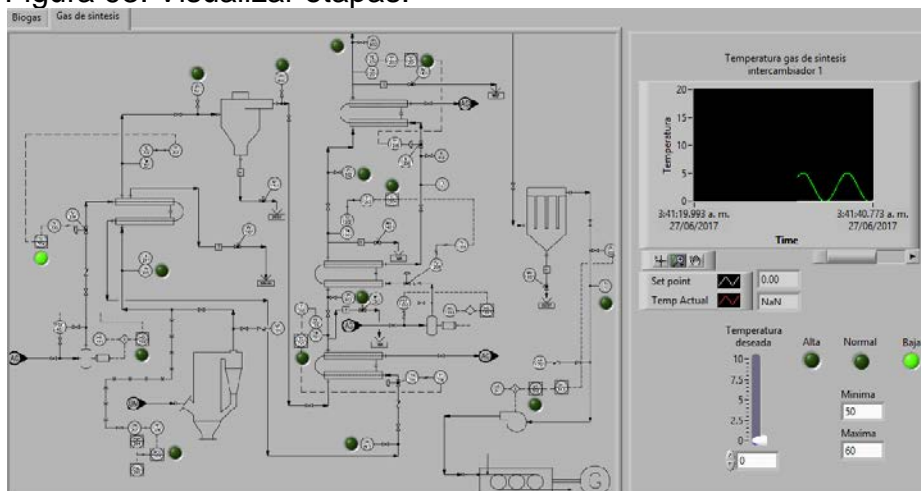
Panel diagrama de flujo proceso de limpieza y acondicionamiento gas de síntesis, Figura 14.

Figura 92. Panel gas de síntesis



Para poder acceder a la información de cada etapa, basta con hacer click izquierdo en el elemento deseado, e inmediatamente el botón indicador iluminará con el fin de saber cual es la etapa en la cual se está adquiriendo datos. Demostrando en el bloque derecho las características que le correspondan como se ve en el ejemplo de la figura donde el indicador de “temperatura gas de síntesis intercambiador 1” se encuentra activo, por consiguiente se debe hacer clic de nuevo para desactivarlo en ingresar a otra etapa a la cual se requiere revisar sus respectivos datos, Figura 15.

Figura 93. Visualizar etapas.

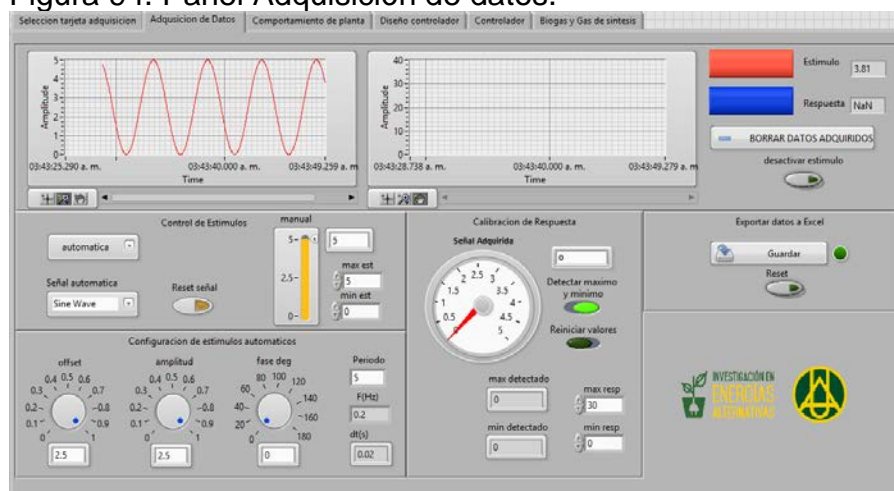


De manera general este panel muestra los elementos que se están monitoreando y los que se están controlando, asumiendo que ya se encuentran configurados los controladores y el sistema de adquisición. Por esta razón, como herramientas complementarias el software posee los demás apartados, que cumplen la función de configurar correctamente los instrumentos, elementos primarios y el controlador, teniendo en cuenta que estos aspectos los debe hacer un personal que posea conocimientos de control, instrumentación y de los procesos de acondicionamiento.

PANEL INTERFAZ ADQUISICIÓN DE DATOS

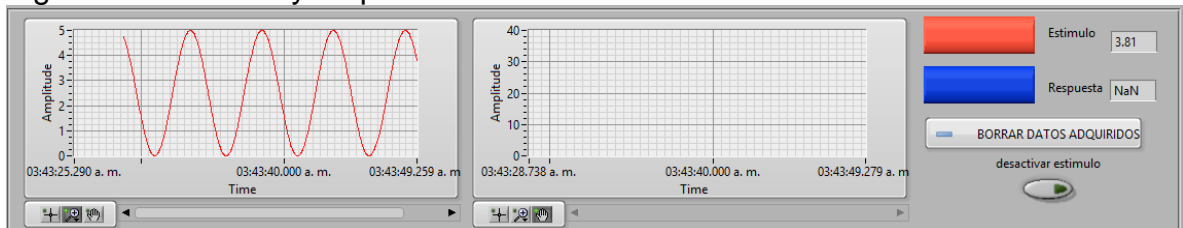
Este panel permite configurar todo lo relacionado con los instrumentos y elementos primarios de control, con el fin de poder relacionarlos y calibrar sus valores o analizarlos con otras herramientas externas como Excel, Figura 16.

Figura 94. Panel Adquisición de datos.



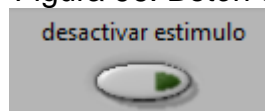
La gráfica permite visualizar los valores en el tiempo obtenidos y enviados por la tarjeta de adquisición, con la función de borrar los datos adquiridos en caso que se tenga bastantes para bajar la carga de espacio ocupado por estos datos, Figura 17.

Figura 95. Estimulo y respuesta.



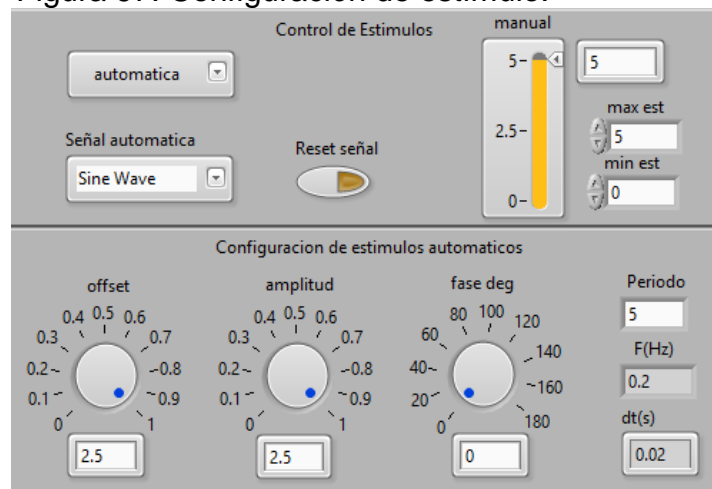
El botón de detener estímulo es una herramienta útil para pausar en el último valor que se encuentre el elemento primario, por si se requiere hacer pruebas con el solo sensor, que para este caso será la respuesta, Figura 18.

Figura 96. Botón desactivar estímulo.



El apartado de control de estímulos y configuración de estímulos automáticos, corresponde a todo lo relacionado con el elemento primario de control, tiene varias características importantes y útiles para el análisis de la interacción estímulo respuesta, o si se requiere aislar el elemento primario y estudiarlo por separado, Figura 19.

Figura 97. Configuración de estímulo.

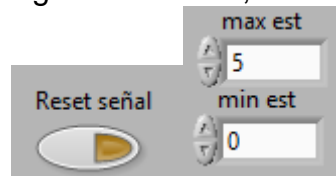


Tiene la opción de manejarlo manualmente, automáticamente o por medio de escalones, para el manejo manual se tiene de un display con forma de nivel que permite manipular al antojo del operario. Al manejarlo automáticamente, se dispone

de unos diales en la parte inferior que configuran las señales periódicas que se quieren establecer, entre estas señales se tienen señal tipo seno, cuadrada, dientes de sierra y triangular. Para configurarlo en forma de escalones se debe pasar al apartado de comportamiento de planta para configurarlo.

También se dispone la opción de reset a las señales automáticas y para establecer los valores máximos y mínimos que relacionan al elemento primario, por ejemplo, si es una válvula este máximo y mínimo se relaciona con su grado de apertura, Figura 20.

Figura 98. Reset, máximo y mínimo estímulo.



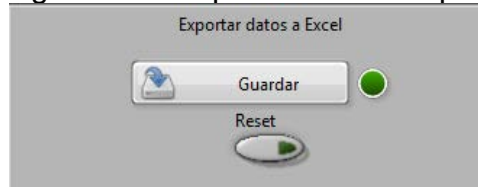
El apartado de calibración de respuesta corresponde a todo lo relacionado con el sensor, el cual si se estimula devuelve en la pantalla del ordenador valores que, dentro de un rango, es por esto, que se hace el uso del botón para detectar el máximo y el mínimo leído durante el barrido del elemento primario o estímulo. Asociando estos valores con los máximos y mínimos reales, que pueden ser variables de temperatura, presión, nivel, caudal, Figura 21.

Figura 99. Configuración sensor



Es posible utilizar estos datos adquiridos en otros softwares especiales de análisis de datos, por eso, como se ve en la Figura 57, esta sección permite enviar los datos a un archivo Excel y poder evaluarlos allí o enviarlos a Matlab que posee una herramienta para el análisis de plantas con el fin de diseñar controladores, Figura 22.

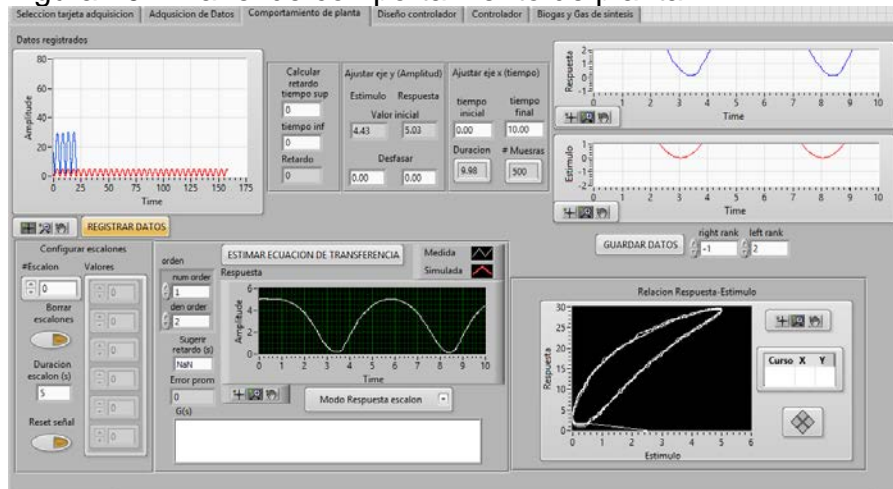
Figura 100. Exportar datos adquiridos.



PANEL COMPORTAMIENTO DE PLANTA

Este panel refleja todo lo relacionado a la manipulación de la señal para ser estudiada como un sistema de control, interviniendo en aproximaciones numéricas de la ecuación de transferencia, Figura 23.

Figura 101. Panel de comportamiento de planta.



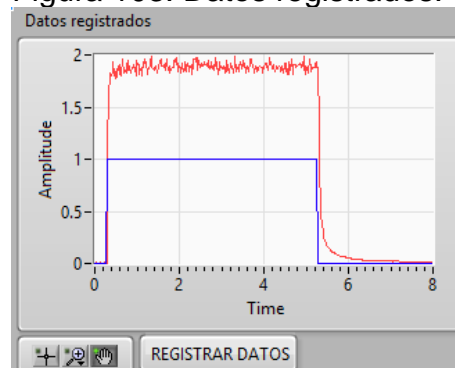
Este apartado representa la configuración deseada, para comenzar a enviar escalones como estímulos a los sensores, Figura 24.

Figura 102. Configuración de escalones.



En la gráfica se muestra, en los datos registrados, los valores que se quieren empezar a recoger de la adquisición de datos tomada anteriormente por medio del botón inferior Figura 25.

Figura 103. Datos registrados.



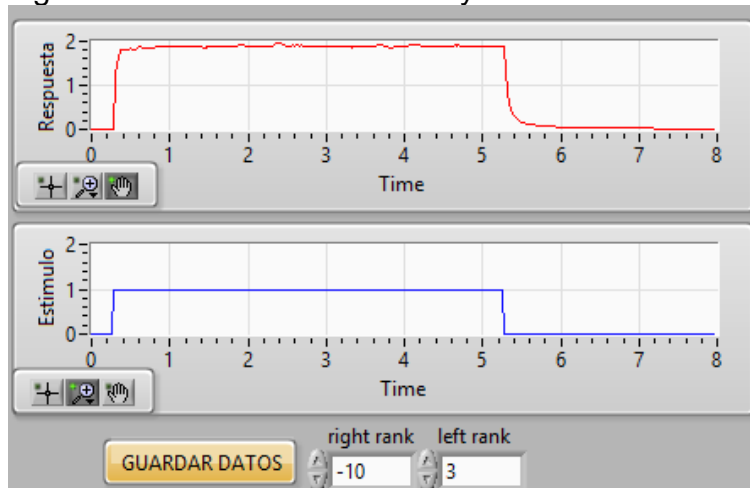
Este apartado realiza la normalización de los datos previa a los cálculos de la ecuación de transferencia, con la capacidad de aproximar el tiempo de retardo midiendo la diferencia entre el tiempo de desfase del estímulo y la respuesta. Seguido a estos ajustes se puede mover los datos en su eje vertical para tener valores iniciales 0, y en el eje horizontal se puede recortar el fragmento de tiempo con el que realmente se va a calcular la ecuación de transferencia, Figura 26.

Figura 104. Alistamiento y normalización de datos registrados.

Calcular retardo tiempo sup <input type="text" value="0"/> tiempo inf <input type="text" value="0"/> Retardo <input type="text" value="0"/>	Ajustar eje y (Amplitud) <table> <tr> <th>Estimulo</th> <th>Respuesta</th> </tr> <tr> <td>Valor inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="text" value="4.43"/></td> <td><input type="text" value="5.03"/></td> </tr> <tr> <td>Desfasar</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="text" value="0.00"/></td> <td><input type="text" value="0.00"/></td> </tr> </table>	Estimulo	Respuesta	Valor inicial		<input type="text" value="4.43"/>	<input type="text" value="5.03"/>	Desfasar		<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	Ajustar eje x (tiempo) <table> <tr> <th>tiempo inicial</th> <th>tiempo final</th> </tr> <tr> <td><input type="text" value="0.00"/></td> <td><input type="text" value="10.00"/></td> </tr> <tr> <th>Duracion</th> <th># Muestras</th> </tr> <tr> <td><input type="text" value="9.98"/></td> <td><input type="text" value="500"/></td> </tr> </table>	tiempo inicial	tiempo final	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="10.00"/>	Duracion	# Muestras	<input type="text" value="9.98"/>	<input type="text" value="500"/>
Estimulo	Respuesta																			
Valor inicial																				
<input type="text" value="4.43"/>	<input type="text" value="5.03"/>																			
Desfasar																				
<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>																			
tiempo inicial	tiempo final																			
<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="10.00"/>																			
Duracion	# Muestras																			
<input type="text" value="9.98"/>	<input type="text" value="500"/>																			

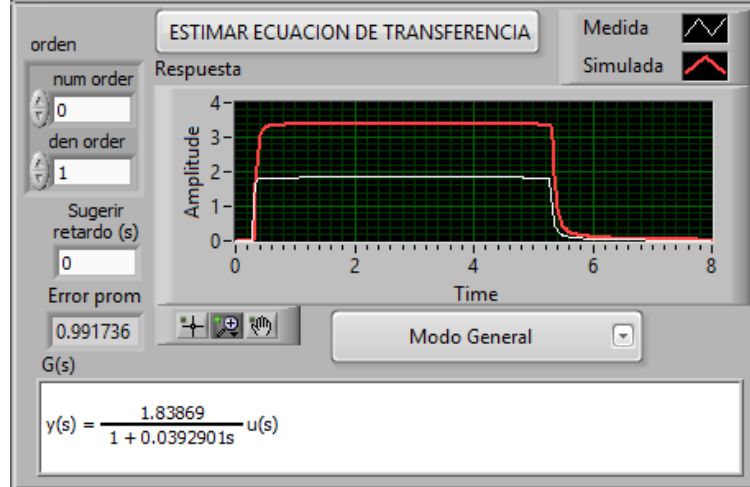
Para este apartado en la parte inferior se encuentra un botón que guarda los datos anteriores en dicha gráfica y aparte se tiene dos controladores numéricos que tienen como fin promediar y filtrar los sectores en que presentan ruido en la gráfica de respuesta, Figura 27.

Figura 105 Datos normalizados y filtrados.



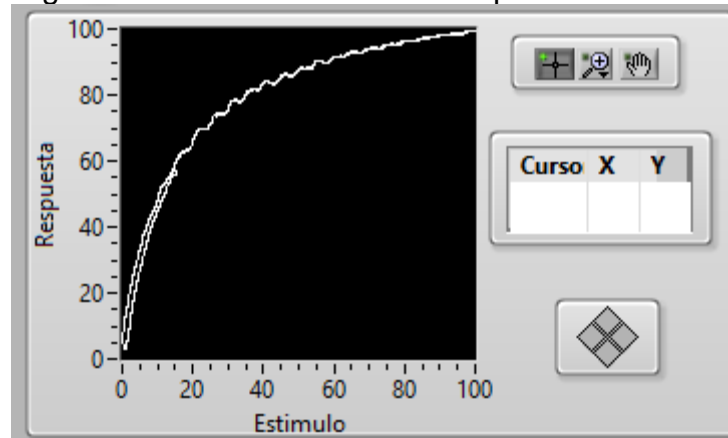
El apartado que estima la ecuación de transferencia permite ajustar el orden del numerador y el denominador y sugiriendo un tiempo de retardo. La figura muestra la respuesta simulada y la medida real, con la descripción matemática y aproximada de la planta, junto a un indicador de error mostrando la diferencia entre las dos señales y promediándolas, Figura 28.

Figura 106 Cálculo y estimación de función de transferencia.



Este apartado relaciona comportamiento de la respuesta en función del estímulo para observar en qué partes de la medición estos dos elementos se comportan en forma lineal, y para establecer en qué parte se pudiese saturar o no la señal de respuesta frente al estímulo, Figura 29.

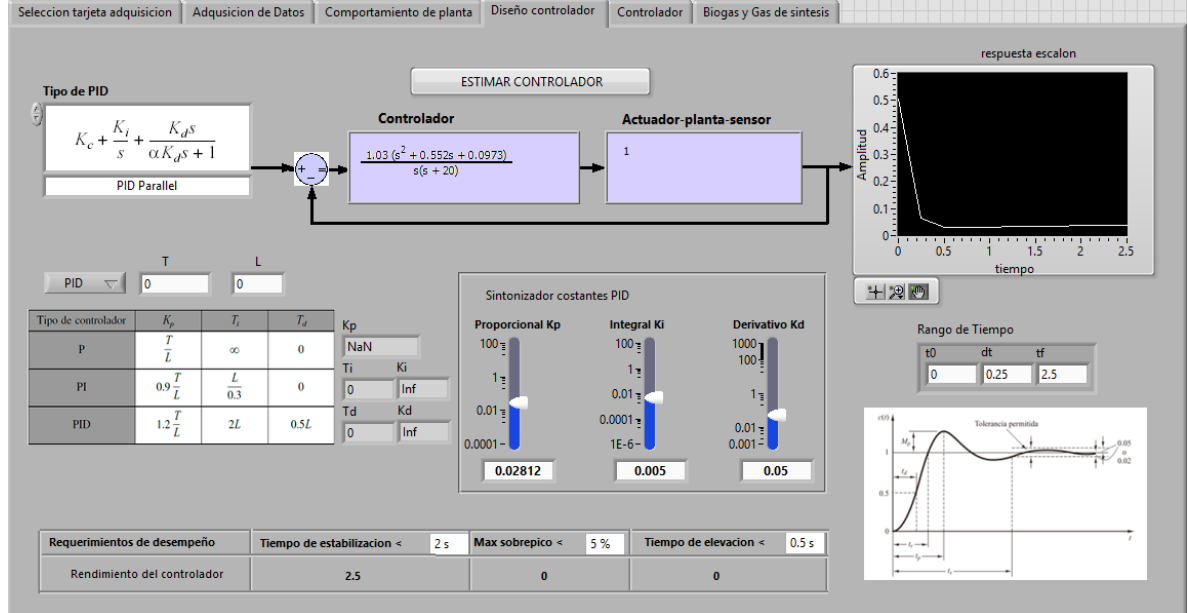
Figura 107. Relación estímulo-respuesta.



PANEL DISEÑO DE CONTROLADOR

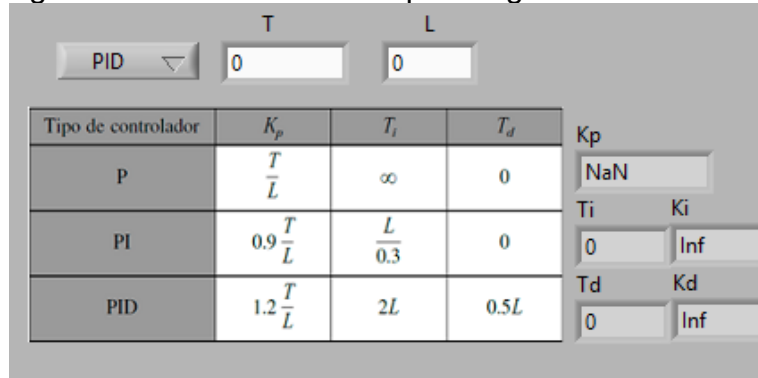
El panel de diseño de controlador contiene todo lo relacionado con la sintonización de los controladores PID, Figura 30.

Figura 108. Panel diseño controlador.



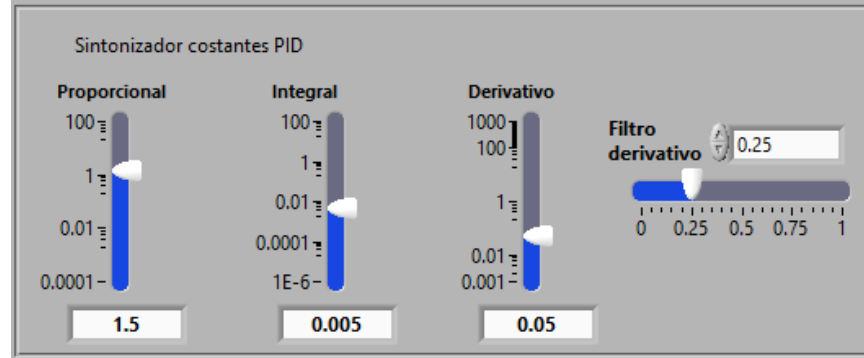
En primera instancia con la ecuación de transferencia anteriormente calculada para la planta el sensor y el actuador, se procede a realizar la estimación por medio del método de Ziegler-Nichols, donde se puede calcular un ya sea un controlador P, únicamente proporcional, PD proporcional e integral, y el PID proporcional integral y derivativo, Figura 31.

Figura 109. Constantes PID por Ziegler-Nichols



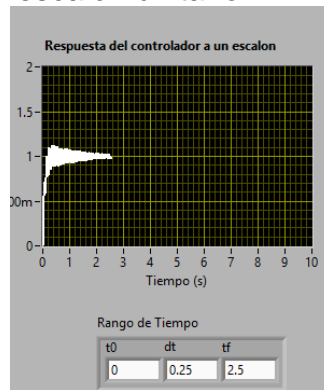
Sin embargo como se se sabe, que el metodo de Ziegler-Nichols es una aproximación y un punto de partida para lograr una sintonización más fina en el apartado de “sintonizacion de constantes” se dispone de los diales correspondientes para ir ajustando manualmente hasta obtener los valores y el comportamiento deseado, Figura 32.

Figura 110. Ajuste manual de constantes PID.



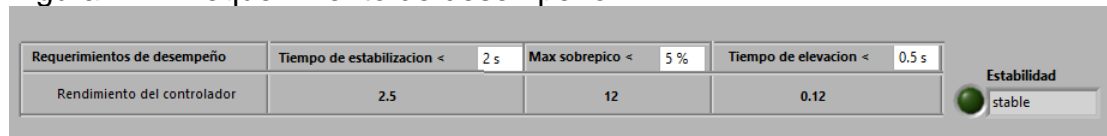
Este comportamiento lo refleja la grafica que visualiza una entrada escalon unitaria, con el controlador establecido, reflejando el comportamiento aproximado del controlador calculado en conjunto con el sistema, Figura 33.

Figura 111. Comportamiento del controlador en un escalón unitario.



Estos requisitos se pueden verificar de igual manera en el apartado de requerimientos de desempeño, que contiene parámetros importantes presentes en estos sistemas para lograr estabilidad al implementarlo, como lo es el tiempo de estabilización que representa el tiempo que se demora la variable controlada en llegar al valor deseado, estos parámetros de desempeño se deben ajustar al fenómeno, Figura 34.

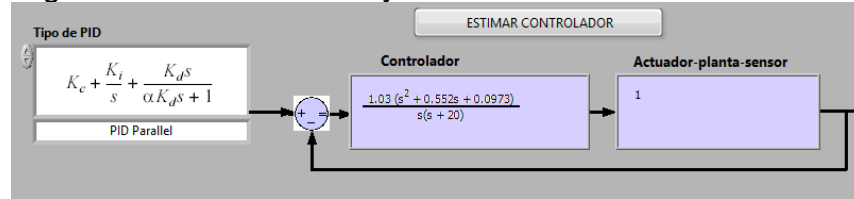
Figura 112. Requerimiento de desempeño.



Como último apartado de este panel el controlador se expresa matemáticamente como se ve en la figura, y puede ser calculado con el botón de estimar controlador,

cada vez que se oprima este botón, los valores anteriormente mencionados se ajustan a los parámetros de configuración que el usuario estableció, Figura 35.

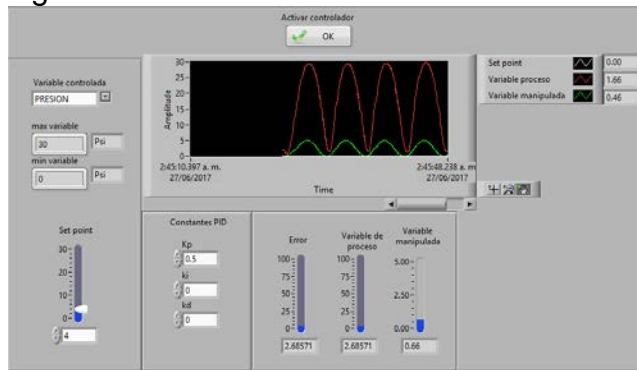
Figura 113. Visualización y estimación de ecuación controlador



PANEL CONTROLADOR

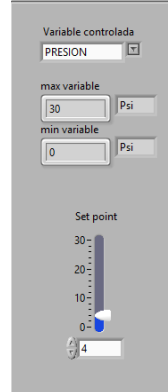
En este panel del controlador se resumen todas las acciones hechas en el panel de diseño de controlador. Acá, aparecen los datos que se están adquiriendo en conjunto con el controlador listo para ingresarle las constantes calculadas, Figura 36.

Figura 114. Panel controlador.



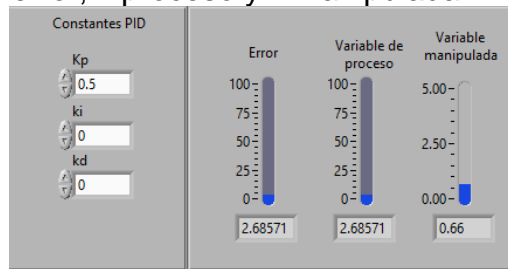
En primera instancia, se procede a ingresar la unidad de medida de la variable a controlar, seguido a esto, el usuario visualiza los valores mínimos y máximos de esa variable, que ya fueron establecidos anteriormente en el apartado de adquisición en el momento de calibrar el sensor, y por último se muestra un controlador tipo mirilla para establecer el set point o valor deseado para dicha variable, Figura 37.

Figura 115. Valor deseado, set point.



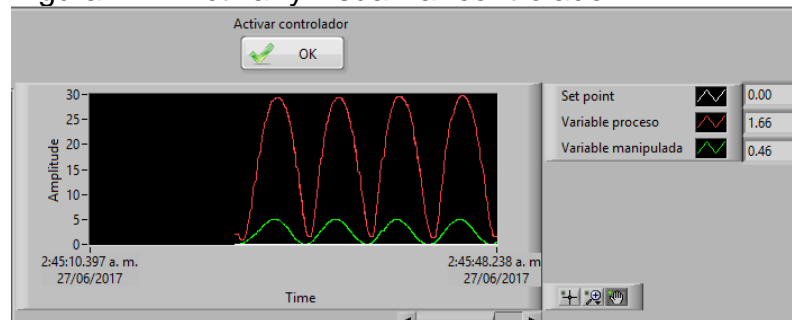
Después, se ingresan las constantes calculadas en su respectiva casilla y al lado derecho se visualizan los valores de error, variable del proceso y variable manipulada que generaran las constantes en conjunto con el set point, Figura 38.


Figura 116. Asignación de constantes PID, visualización de error, v proceso y v manipulada.



Todo esto se visualiza en función del tiempo con la gráfica que al activar la casilla de dice “activar controlador” comienza a funcionar el controlador diseñado en los pasos anteriores, mientras no esté activa el sistema se puede utilizar como monitoreo y se pueden estudiar las señales manipulándolas directamente el operario, Figura 39.

Figura 117. Activar y visualizar controlador.



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros **Jhon Paul Herrera Álzate** y **José Andrés Merchán Cuervo** en calidad de titulares de la obra **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE GAS DE SÍNTESIS Y BIOGÁS EN LA ALIMENTACION DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:


AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá DC, a los 17 días del mes de Agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Jhon Paul	Apellidos	Herrera Álzate
Documento de identificación No	1030613447	Firma	

Autor 2

Nombres	José Andrés	Apellidos	Merchán Cuervo
Documento de identificación No	1023943932	Firma	